NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06275295 5

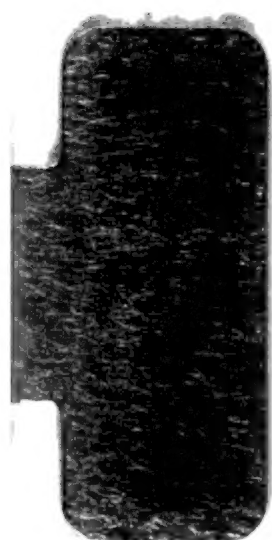
Digitized by Google

Digitized by Google

PAR

ANNALEN

Digitized by Google



Digitized by Google

ANNALEN

DER

PHYSIK UND CHEMIE.

BAND XXIII.

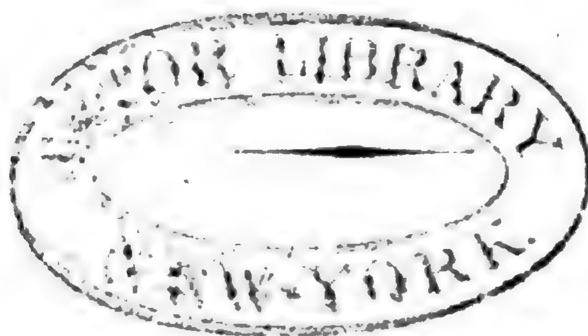
ANNALEN

DER

PHYSIK UND CHEMIE.

BAND XXIII.

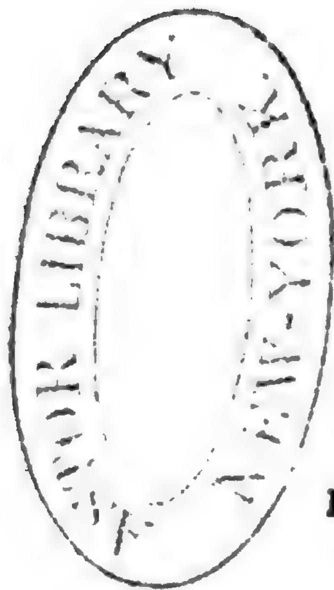
ANNALEN
DER
PHYSIK
UND
CHEMIE.



HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

VON

J. C. POGGENDORFF.



DREIUNDZWANZIGSTER BAND.

DER GANZEN FOLGE NEUNUNDNEUNZIGSTER.

NEBST FÜNF KUPFERTAFELN.

LEIPZIG, 1831.
VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.

Inhalt

des Bandes XXIII der Annalen der Physik und Chemie.

Erstes Stück.

Seite

Zweites Stück.

Drittes Stück.

Viertes Stück.

ANNALEN
DER PHYSIK UND CHEMIE.

JAHRGANG 1831, NEUNTES STÜCK.

I. *Untersuchung über die specifische Wärme der Mineralien;*

von F. E. Neumann,

Prof. der Physik an der Universität zu Königsberg.

(Ein Sendschreiben an Herrn Prof. Weiſs in Berlin.)

Indem ich Ihnen die Mineralien zurücksende, die Sie mir aus dem Königlichen Mineralogischen Museum zu Untersuchungen über die specifische Wärme geliehen haben, erlaube ich mir Ihnen die Resultate, die ich in dieser Beziehung erhalten habe, vorzulegen. Bei den vielen Hindernissen, die fast jede Untersuchung über die Wärme hat, wodurch so leicht *constante* Fehler in das Endresultat kommen, dürfte Ihr Urtheil über die erhaltenen Werthe für die specifische Wärme unsicher seyn, wenn ich Ihnen nicht die Verfahrungsarten, deren ich mich bediente, und die Mittel, jene Hindernisse zu umgehen, die ich anwandte, entwickelte; auch dürften die deshalb zu entwickelnden theoretischen Untersuchungen ein Interesse für sich haben.

Von den drei Methoden, deren man sich bis jetzt bedient hat: der Methode des Calorimeter, der Mischung

und der Abkühlung, ist die letztere so indirect und steht von der innern Leitungsfähigkeit in einer solchen Abhängigkeit, dafs ihre Zulässigkeit für jeden besondern Apparat, durch welchen sie ausgeführt wird, mittelst einer der beiden ersten Methoden, erst nachgewiesen werden mufs. Beide sind direct und die Methode des Calorimeter scheint, wenn man grofse Quantitäten der zu untersuchenden Substanzen anwenden kann, den Vorzug zu verdienen, jedoch beruht dieses Urtheil auf keiner Erfahrung meinerseits. Ich habe mich der Methode der Mischung bedient, und nachdem an den durch sie erhaltenen Resultaten die Zulässigkeit der Methode der Abkühlung geprüft war, mich zu dieser Methode gewandt.

Die Methode der Mischung wurde so angewandt, dafs die zu untersuchende Substanz erwärmt wurde und in Wasser getaucht, dessen Temperatur nahe die der Umgebung war. Das Verhältnifs der Differenz der Thermometer-Grade der erwärmten Substanz beim Eintauchen und des Wassers nach der Mischung, zur Differenz der Thermometer-Grade des Wassers nach der Mischung und vor der Mischung, ist das Verhältnifs der specifischen Wärmemengen der Substanz und des Wassers.

Wenn durch V, V_1 die Temperatur der erwärmten Substanz und des kältern Wassers im Augenblick der Mischung und durch M die Temperatur der Mischung bezeichnet wurden, und S und S_1 die specifische Wärmemengen der Substanz und des Wassers bedeuten, so ist die eben ausgesprochene Relation

$$\text{I.} \quad M = \frac{VS + V_1 S_1}{S + S_1}.$$

Bei der Anwendung dieser Relation wird also vorausgesetzt:

1) Dafs die Temperatur der erwärmten Substanz für den Augenblick des Eintauchens bekannt ist.
2) Dafs beides die Substanz und das Wasser nach der Mischung zu derselben Temperatur gekommen sind.

3) Dafs während der Mischung kein Wärmeverlust stattgefunden hat.

Keine dieser Voraussetzungen ist in dem Experiment wahr oder kann genau erfüllt werden; es kömmt also darauf an, die deshalb entstehenden Correctionen in obiger Relation zu ermitteln.

Ich beschäftige mich zuerst mit der zweiten und dritten Voraussetzung.

Es mufs zu diesem Ende der Gang der Wärme untersucht werden, aus der erwärmten Substanz in's kältere Wasser, aus diesem durch die Wände des Abkühlungsgefäfses und der Oberfläche des Wassers in die Luft. Die einfachste Voraussetzung, worauf diese Untersuchung kann basirt werden, giebt die Anwendung des Newtonschen Gesetzes, sowohl auf die Abkühlung durch die Luft als auf die Abkühlung durch Wasser. Demnach ist die Wärme, welche aus der erwärmten Substanz in das Wasser geht, proportional dem Temperatur-Unterschied des Wassers und der Substanz, und von dieser Wärme verliert das Wasser wiederum einen Theil der proportional dem Ueberschufs seiner Temperatur über die der Umgebung. Diese zum Grunde zu legenden Annahmen können nur annäherungsweise wahr seyn, da sie unter andern das innere Leitungsvermögen der Substanz sowohl als das des Wassers unendlich grofs voraussetzen, — die aus ihnen zu ziehenden Resultate sollen jedoch nur dienen, kleine Corrections-Gröfsen zu bestimmen. Der analytische Ausdruck dieser Anwendung des Newton-Gesetzes sind folgende zwei lineare Differential-Gleichungen:

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{o}{S}(v - v_1).$$

$$\frac{dv_1}{dt} = +\frac{o}{S+S_1}(v - v_1) - \frac{o_1 v_1}{S+S_1}.$$

Wo o die Wärmemenge bezeichnet, die während der Einheit der Zeit bei einer constanten Temperatur Erhöhung von 1° gegen umgebendes Wasser durch die Ober-

fläche der erwärmten Substanz in das Wasser geht, und o_1 dasselbe für die Oberfläche des Wassers und des Abkühlungsgefäſses in Beziehung auf die umgebende Luft bedeutet; S bedeutet die specifische Wärmemenge *) der Substanz, und S_1 diejenige des Wassers und seines Gefäſses, v ist der Temperatur-Ueberschuſs der Substanz, und v_1 der des Wassers über die der Umgebung. Aus jenen Gleichungen folgt:

$$v = pe^{-ht} + Pe^{-Ht}$$
$$v_1 = p_1 e^{-ht} + P_1 e^{-Ht}$$

wo p und P zwei Constante, die durch die anfängliche Temperatur V und V_1 bestimmt werden, und $p_1 = (1 - \frac{S}{o} h)$ und $P_1 = P(1 - \frac{S}{o} H)$ ist, und h und H die beiden Wurzeln der Gleichung

$$h^2 - \left[o\left(\frac{1}{S} + \frac{1}{S_1}\right) + \frac{o_1}{S}\right]h + \frac{oo_1}{SS_1} = 0$$

bezeichnen, und e die Basis des nat. Log. Systems und t die Zeit, vom Augenblick der anfangenden Mischung an gerechnet. Wenn die anfängliche Temperatur des Wassers so gewählt ist, daſs sie im Laufe der Mischung mit der erwärmten Substanz eine Temp. hat oder erlangt, welche die der Umgebung übertrifft, d. h. wenn v_1 positiv ist oder wird, so giebt es für diese Gröſse ein Maximum. — Dieses Maximum ist es, welches in der Methode der Mischung zur Beobachtung sich vorzüglich eignet.

Für dieses Maximum von v_1 das mit v_m bezeichnet werden soll, findet die Relation statt:

$$v_m e^{hT}\left[1 + \left(\frac{S}{S_1} + \frac{V_1}{v_m}\right)\frac{h}{H}\right] = \frac{VS + V_1 S_1}{S + S_1}$$

in welcher V und V_1 die anfänglichen Temp. der Substanz und des Wassers bezeichnen. In dieser Relation

*) Unter specifischer Wärmemenge der Substanz verstehe ich die Quantität, die erforderlich ist, um 1° Temperatur-Unterschied in der Substanz hervorzubringen.

enthält die mit v_m multiplicirte Gröfse die Correctionen, die herrühren 1) von dem Wärmeverlust der Mischung durch die Umgebung: e^{hT}, und 2) von der Differenz der Temp. der Substanz und des Wassers im Augenblick des Maximum. Diese Relation ist es also, welche statt der obigen zur Bestimmung von $\frac{S}{S_1}$ angewandt werden mufs. Diefs setzt aber voraus, dafs h und H gekannt sind. Die erstere h kann abgeleitet werden aus Beobachtungen über die Abkühlung des Wassers, nachdem das Maximum schon einige Zeit vorüber ist — alsdann ist nämlich das mit e^{-Ht} multiplicirte Glied in v_1 unmerklich geworden, und wenn hier v_2, v_3 zwei Werthe von v_1 entsprechend den Zeiten t_2, t_3 bedeuten, so ist

$$\frac{1}{t_3 - t_2} \log \frac{v_2}{v_3} = h.$$

Was die Gröfse H betrifft, so giebt die Bedingung, dafs v_m das Maximum von v_1 sey, eine Gleichung für die Zeit des Eintritts dieses Maximums $= T$, die abhängig von H ist, und aus welcher, wenn diese Zeit T beobachtet ist, der Werth von H gefunden werden kann. Diefs ist eine transcendente Gleichung; sie erhält die einfachste Gestalt, wenn die Temp. des Wassers vor der Mischung gleich ist der Temp. der Umgebung; in diesem Fall ist diese Gleichung

$$a = x e^x.$$

Diese Gleichung hat zwei Wurzeln

$$x = hT \text{ und } x = HT.$$

Die eine dieser Wurzeln ist nach dem vorigen bestimmt, und aus ihr läfst sich mittelst der Logarithmen-Tafeln, also leicht, die zweite Wurzel in hinreichender Annäherung finden.

Was T betrifft, so ist diefs keine günstige Gröfse zu einer guten Beobachtung, jedoch zeigen sich die Abweichungen der einzelnen Beobachtungen hiefür vom Mit-

tel einer grofsen Anzahl unbedeutend in Beziehung auf den von ihnen zu machenden Gebrauch.

Die Zulässigkeit der Grundlagen, worauf die Differentialgleichungen beruhen, abgerechnet, bleibt jetzt nur noch eine Erörterung der ersten obiger Forderungen, dafs nämlich V, d. i. die Temperatur, mit welcher die Substanz eingetaucht wird, genau gekannt sey. Diese Forderung ist schwer zu erfüllen, wenigstens wenn die Substanz erwärmt in kaltes Wasser getaucht wird. Ueberhaupt ist es ein schweres Problem, die Temperatur eines festen Körpers zu bestimmen, und mit festen Körpern habe ich es hier zu thun.

Das Verfahren, welches ich angewandt habe, ist folgendes: Die Substanz hing frei in einem verschlossenen Blechkasten an einem Drath, der allein heraus ragte. In diesem Blechkasten traten die Dämpfe von siedenden Wasser durch eine Röhre, und durch eine andere Röhre, deren Mündung 6 Zoll etwa höher war, traten sie aus dem Kasten wieder heraus, nachdem sie ein Stanniol-Blättchen aufgehoben hatten. Durch ein Thermometer, welches sich in diesem Kasten befand, überzeugte ich mich zum Ueberflufs noch, dafs die Temperatur in diesem Kasten constant war, so lange der Barometerstand sich nicht änderte. Dieser Kasten hatte oben zwei Flügelklappen, die, wenn die Substanz aus ihm in das kalte Wasser sollte gebracht werden, mittelst eines Drucks, der mit den Füfsen ausgeübt wurde, sich öffneten. Ich war also versichert von der Temperatur, mit welcher ich die Substanz aus dem Kasten heraus nahm; aber eine neue Schwierigkeit ist der Wärmeverlust, den sie erleidet während der Zeit, in der sie zu dem kalten Wasser übergeführt wird, der immer merklich seyn mufs bei der hohen Temperatur, die sie besitzt. — Ich verfuhr so, dafs ich die Zeitdauer des Herüberführens absichtlich veränderte und den Wärmeverlust dieser Zeit proportional annahm ich gebrauchte im Mittel 6 und 12 Chronometerschläge

(d. i. 2,4 und 4,8 Secunden). — Diese Annahme aber ist sehr unsicher; sie würde es noch mehr gewesen seyn, wenn ich in Beziehung auf das an der erwärmten Substanz anhängende Wasser nicht die Vorsicht gebraucht hätte, dafs ich die Substanz schon erwärmt in das Dampfbad gebracht hätte *).

Wenn man dieses eben entwickelte Verfahren bei der Bestimmung der specifischen Wärme und dessen Grundsätze auf Metalle anwendet, glaube ich, wird man sich nicht sehr irren, und zwar aus zwei Gründen, der grofsen innern Leitungsfähigkeit wegen, welche die Metalle besitzen, und wegen der schicklichen Form, die man ihnen für diese Untersuchung geben kann. Bei nicht metallischen Substanzen ist die innere Leitungsfähigkeit klein, und diefs entfernt sie am meisten von der im Vorigen

*) Das anhängende Wasser rührt her von der Erwärmung der noch unter der Temperatur des Dampfes sich befindenden Substanz; der Niederschlag hört auf, sobald die Substanz die Temperatur des Dampfes angenommen hat. Diese Bemerkung führte mich auf eine neue Methode, die specifische Wärme einer Substanz zu bestimmen, nämlich aus der Quantität des sich an ihr niedergeschlagenen Wasserdampfes. Diese Methode ist das Gegenstück der von Lavoisier und La Place angewandten, in welcher die specifische Wärme durch die Menge des flüssig gewordenen Eises bestimmt wird. Die vorläufigen Versuche jedoch, welche ich, um die Brauchbarkeit dieser Methode kennen zu lernen, angestellt habe, lassen noch einige Zweifel. Der Niederschlag an einer Kugel, oder vielmehr die Bildung von Wassertropfen am niedrigsten Theile der Kugel in einem Kasten, der mit siedend heifsen Wasserdämpfen gefüllt war, hörte auch nach sehr langer Zeit nicht vollkommen auf — eine Thatsache gegen den Schlufs, der der Methode zum Grunde gelegt wurde — und die mir nur auf 2 Wegen erklärlich scheint; 1) entweder erreichte die Kugel in dem Raume, der eine constante Temperatur hatte, nicht dieselbe Temperatur, weil sie durch ein Glasfenster, welches in den Wänden des Kastens angebracht war, immer einen Theil ihrer Wärme durch Strahlung verlor, oder 2) es findet ein Niederschlag an der Kugel statt, der nicht von einer niedrigeren Temperatur derselben herrührt, sondern auf einer anderen Einwirkung der messingenen Kugel auf den Wasserdampf beruht.

gemachten Voraussetzung, dafs die innere Leitungsfähigkeit unendlich grofs sey; die Form ist gegeben und meist ungünstig; beide Umstände sind sehr variabel für die verschiedenen Substanzen, und das schien mir auch nachtheiliger, weil dadurch in die Bestimmung für jede Substanz ein besonderer constanter Fehler könnte hervorgebracht werden. Ich habe folgenden Weg eingeschlagen. Ich brachte die zu untersuchenden Substanzen in ein messingenes Kästchen durch eine Oeffnung, die, nachdem die leeren Zwischenräume im Kästchen mit Wasser ausgefüllt waren, mit einer Schraube wasserdicht verschlossen wurde. Es wurden die specifischen Wärmemengen dieses Kästchens mit seinen verschiedenen Füllungen untersucht. Auf diese Weise erreichte ich eine zweckmäfsige und gleiche Form bei den verschiedenen Substanzen, und eine, wenn auch geringe, doch nahe gleiche innere Leitungsfähigkeit — wenn in den Resultaten ein constanter Fehler sich befand, so mufste er auch gleich in ihnen seyn, und konnte also auf eine schickliche Weise eliminirt werden. — Aufserdem erreichte ich den Vortheil, dafs ich die Zulässigkeit der vorher aufgestellten Grundsätze prüfen und alle Corrections-Elemente direct bestimmen konnte, wenn in das Kästchen ein Thermometer gestellt wurde. Diese directe Prüfung war, wie sich sogleich ergeben wird, sehr nothwendig. Diese Prüfung liefs sich so erhalten, dafs man in das Kästchen eine Substanz brachte, deren specifische Wärme in Beziehung auf Wasser bekannt war; hierzu schien sich keine andere Substanz besser zu eignen, als Wasser selbst; indem ich also das Kästchen ganz mit Wasser füllte, bestimmte ich nach den dargelegten Grundsätzen die specifische Wärme des erwärmten Wassers gegen kaltes Wasser; sie ergab sich merklich kleiner als Eins. Die Unzulässigkeit und vielmehr das Unzureichende der eben entwickelten Correctionen schien erwiesen, und es wurde sehr wahrscheinlich, dafs die Correction für die Differenz der Temperatur des Kästchens

und Wassers im Maximum der Temperatur der Mischung zu klein war, denn dadurch mufste eine zu kleine specifische Wärme entstehe. Diese Correction, so viel ergiebt sich aus einer allgemeinen Ueberlegung, mufste gröfser seyn, je kleiner die innere Leitungsfähigkeit ist. Doch mufsten in dieser Hinsicht neue Zweifel entstehen durch die Betrachtung, dafs ältere Beobachtungen von De Luc und später von Flaugergues und Ure eine abnehmende specifische Wärme mit der Höhe der Temperatur beim Wasser mit dem von mir behaltenen Resultat übereinstimmend, auf ganz andere Weise gefunden hatten. Diese Zweifel wurden durch eine unabhängige Untersuchung des in Frage stehenden Gegenstandes entschieden, die ich Ihnen in einem besondern Aufsatz beilege, woraus sich mit Bestimmtheit ergiebt, dafs die specifische Wärme des Wassers mit der Temperatur nicht abnimmt, vielmehr zunimmt, in Uebereinstimmung mit dem was Dulong in Beziehung auf die Metalle und Glas gefunden hat. Die angewandten Correctionen waren also unzureichend; aus den Beobachtungen, welche ich mit dem Kästchen über die specifische Wärme des Wassers angestellt hatte, liefs sich, wenn die specifische Wärme des Wassers als gegeben betrachtet wurde, die Correction wegen des Unterschiedes der Temperatur des Kästchens und des Wassers im Maximum der Temperatur berechnen, und dieser Unterschied ergab sich *sehr viel* gröfser, als er, der gebrauchten Corrections-Formel nach, hätte seyn sollen, nämlich 1°,5 R. statt 0,1 etwa. Um mich von der Wirklichkeit dieser grofsen Differenz zu überzeugen, wurde an das Kästchen, statt der Schraube, womit es verschlossen wurde, ein kleines Rohr angeschraubt, durch dieses ein Thermometer hindurch in das Kästchen gebracht, und nun wurden dieselben Operationen, nachdem das Kästchen einmal mit blofsem Wasser gefüllt war, dann mit Wasser und Kalkspath und endlich mit Wasser und Bleiglanz, zur Bestimmung der jedesmaligen specifi-

schen Wärmemengen wiederholt — so aber, daſs zugleich im Maximum der Temperatur des Wassers, in welchem das Kästchen abgekühlt wurde, der Stand des in ihm befindlichen Thermometers beobachtet wurde. Die unmittelbaren Beobachtungen des Thermometers gaben in diesen dreierlei Fällen, im Mittel, als Differenz 1.2; 1,2 und 1.5. Diese unmittelbaren Beobachtungen sind aber nicht die Differenz der *mittlern Temperatur* des Kästchens und des Wassers, sondern höher, und sie erfordern in dieser Hinsicht noch eine Correction: 1) Nach der Abkühlungs-Geschwindigkeit des angewandten Thermometers im Kästchen, und 2) nach dem Unterschied der Temperatur des Kastens im Centrum von seiner mittlern Temperatur; oder anders ausgedrückt: Aus den Angaben des Thermometers muſs zuerst die Temperatur des das Thermometer umgebenden Wassers abgeleitet werden, und aus dessen Temperatur die mittlere Temperatur des Kästchens geschlossen werden. Diese beiden Correctionen verringern die unmittelbaren Angaben des Thermometers um ungefähr 0,1 R. — Die zweite der eben angezeigten Correctionen: der Unterschied der Temperatur im Centrum von der mittlern Temperatur, ist abhängig von der innern Leitungsfähigkeit im Kasten. Aus diesem Grunde und einigen andern noch darzulegenden Gründen, war es wünschenswerth, diese, *die innere Leitungsfähigkeit*, zu bestimmen. Fourier ist der einzige, der überhaupt einen Versuch gemacht, diese Gröſse absolut zu bestimmen, alle sonstigen Untersuchungen über diesen Gegenstand haben nur den Zweck gehabt, das Verhältniſs der innern Leitungsfähigkeiten verschiedener Stoffe zu finden. — Hier war die Kenntniſs der absoluten innern Leitungsfähigkeit nöthig. Von dem Verfahren, dessen Fourier sich bediente, konnte kein Gebrauch gemacht werden; es muſste ein Verfahren ersonnen werden, das unmittelbar auf das Kästchen anwendbar war. Dasjenige, dessen ich mich bedient

habe ist von folgendem leicht wahrzunehmenden Phänomen hergenommen:

Wenn ein Körper aus einem kalten Medium in ein warmes gebracht wird, und man ihn, ehe er dessen höhere Temperatur angenommen hat, wieder in das kalte zurückführt, so steigt und fällt ein in seiner Mitte sich befindendes Thermometer nicht auf die Weise, wie es nach der Bedingung der umgebenden Temperatur der Fall seyn sollte, sondern es fährt fort zu steigen, es erreicht eine gewisse Höhe, im Maximum, und dann erst fängt es an zu fallen. Der Grund dieses Phänomens ist die innere Leitungsfähigkeit: die Theile des Körpers an den Peripherien haben eine höhere Temperatur, als die in der Nähe des Centrums, und sie fahren fort einen Theil ihrer Wärme nach dem Centrum zu senden, während sie einen andern Theil der Umgebung mittheilen. Die Höhe, bis zu welcher das Thermometer fortfährt zu steigen, und die Schnelligkeit, mit welcher es zu seinem Maximum steigt, wird abhängig seyn von dem Ueberschuſs der Wärme in der Nähe der Peripherie, gegen die Wärme in der Nähe der Mitte, von der Vertheilung dieses Ueberschusses, von der innern Leitungsfähigkeit und von der äuſsern Leitungsfähigkeit. Die Gröſse des Ueberschusses der Temperatur an der Peripherie gegen die in der Mitte, und dessen Vertheilung, wird abhängig seyn von der innern Leitungsfähigkeit und von der Schnelligkeit der Erwärmung im warmen Medium. Um aber diese Abhängigkeit genau auszudrücken, ist es nöthig zu den allgemeinsten Relationen, die Fourier für die Bewegung der Temperatur in festen Körpern gegeben hat, zurückzugehen. — Diese partielle Differential-Gleichungen aber, wenn die Figur des Körpers irgend welche ist, erlauben kein Integral, von welchem man für den gegenwärtigen Fall Gebrauch zu machen hoffen dürfte, es sey denn, daſs in ihm dasjenige wieder vernachlässigt wird, was von der Beson-

derheit der Figur herrührt. Ich habe deshalb nur die Bewegung der Temperatur in einer Kugel betrachtet, und zwar in der Voraussetzung, dafs an allen Orten, die gleich weit vom Mittelpunkt entfernt sind, gleiche Temperatur herrsche. Ich nehme an, dafs die Temperatur in dem Mittelpunkt der Kugel durch die Beobachtung eines daselbst sich befindlichen Thermometers gegeben sey. Diese Temperatur des Centrums sey $\varphi\ (t)$, d. h. sie sey als eine Function der Zeit gegeben, es sey S die specifische Wärmemenge der räumlichen Einheit der Masse dieser Kugel, R der Halbmesser der Kugel, und k ihre innere Leitungsfähigkeit, es sey M_i die mittlere Temperatur, so findet sich

$$M_i = \varphi t + \frac{3.1}{5.1.2.3} \frac{R^2 S}{k} \frac{d\varphi t}{dt} + \frac{3.1}{7.1.2..5} \frac{R^2 S}{k} \frac{d^2 \varphi t}{dt}.$$

Wenn man die Veränderung der Temperatur der Kugel so einrichtet, dafs das 3te und die folgenden Glieder dieser Reihe sehr klein sind, so ist

$$1)\quad M_i = \varphi t + \frac{1}{10} \frac{R^2 S}{k} \frac{d\varphi t}{dt}.$$

Es bezeichne M_a das Maximum der Temperatur, welches die Kugel erlangt, wenn sie aus ein kaltes Medium in ein warmes, und aus diesem wieder zurück in ein kaltes gebracht wird, und es sey h der Abkühlungs-Coëfficient in dem kalten Medium; T die Zeit von dem Augenblick, wo sie in das kalte Medium zurückgebracht wird, bis zum Eintritt des Maximums in die Temperatur des Centrums, in dem Augenblick, da die Kugel aus dem warmen Medium zurückgeführt wird, so ist

$$2)\quad M_a = \left[\varphi t + \frac{1}{10} \frac{R^2 S}{k} \frac{d\varphi t}{dt}\right] e^{-\frac{3h}{RS} T}.$$

und hieraus

$$3)\quad M_a = M_i\, e^{-\frac{3h}{RS} T}$$

d. h. *das Maximum ist gleich der mittlern Temperatur der Kugel für den Augenblick, wo sie aus dem warmen*

Medium heraustritt, weniger dem während des Steigens bis zum Maximum erlittenen Wärmeverlust durch die Umgebung.

Diefs Resultat unter der Voraussetzung, dafs die von $\frac{d^2\varphi}{dt}$ etc. abhängigen Glieder von geringem Werth sind, wovon sich zu überzeugen in jedem einzelnen Versuch man die Mittel vorhanden sieht, aus den allgemeinen Gleichungen der Bewegung des Wärme streng abgeleitet, hätte sich vorher sehen lassen; es leuchtet ein, dafs wenn kein Wärmeverlust durch die Oberfläche im kalten Medium stattfände, der Thermometer die mittlere Temperatur erreichen und da stationär verbleiben mufs.

Wenn v und v_1 den Unterschied zweier Temperaturen des Mittelpunkts der Kugel im kalten Medium gegen die der Umgebung vor Eintritt des Maximums und t, t_1 die dazu gehörige Zeiten, gerechnet von dem Augenblick, wo die Kugel in das kalte Medium zurückgebracht wurde, so ist, wenn h gegen k vernachlässigt werden kann

$$4)\quad \frac{v e^{-\frac{3h}{RS}t - M_2 e^{-\frac{3h}{RS}T}}}{v_1 e^{-\frac{3h}{RS}t_1 - M_2 e^{-\frac{3h}{RS}T}}} = e^{-\frac{10k}{R^2 S}(t-t_1)}.$$

Die Gleichungen 1, 3 und 4 enthalten die Relationen, deren man sich bedienen mufs, um die innere Leitungsfähigkeit der Kugel zu finden; es lassen sich aus ihnen drei Verfahrungsarten herleiten.

1) Man beobachtet den Gang des Thermometers im Centrum der Kugel im warmen Medium mit den dazu gehörigen Zeiten. Diese Beobachtungen bestimmen empirisch die Function $\varphi(t)$. Man beobachtet das Maximum dieses Thermometers im kalten Medium, und nach Verlauf einiger Zeit beobachtet man die Abkühlung dieses Thermometers; lassen sich in diesen letzten Beobachtungen die Temperaturen durch eine geometrische Reihe darstellen,

während die Zeit arithmetisch zunimmt, oder ist $v = Ae^{-at}$, so ist $a = \frac{3h}{RS}$.

Dann hat man folgende Relation:

$$M_a e^{+\frac{3h}{RS}T} = \varphi + \frac{1}{10} \frac{R^2 S}{k} \frac{d^2\varphi}{dt},$$

in welcher alle Gröfsen bis $\frac{1}{10} \frac{R^2 S}{k}$ bekannt sind, die sich also daraus herleitet.

2) Die Gleichung 4 enthält eine zweite Methode. Es wurde der Thermometer im Centrum der Kugel im kalten Medium vor Eintritt des Maximums beobachtet, das Maximum selbst nebst den dazu gehörigen Zeiten, wodurch der Werth von $e^{-\frac{10k}{R^2 S}(t-t_1)}$ gegeben ist, wenn $\frac{3h}{RS}$ wie vorher bestimmt wird, und woraus sich also $\frac{k}{R^2 S}$ finden läfst.

3) Diese beiden eerfahrunglsarten erfordern die Bestimmung von $e^{\frac{3h}{RS}}$; man kann aber durch die Combination desselben diese Gröfse eliminiren. Diefs ist dann vortheilhaft, wenn die Kugel z. B. in heifsem Wasser erwärmt wurde, und dann zurück in kältere Luft geführt, in dieser sich abkühlt, weil in diesem Fall die Oberfläche während des Abkühlens wegen des daran haftenden Wassers sich verändert. Diese Elimation giebt:

$$e^{-\frac{10k}{RS}(t-t_1)} = \frac{v\left[\frac{M}{M_a}\right]^{\frac{t}{T}} - M_i\left[\frac{M_i}{M_a}\right]}{v_1\left[\frac{M_i}{M_a}\right]^{\frac{t_1}{T}} - M_a\left[\frac{M_i}{M_a}\right]},$$

wo statt M_i sein Werth aus 1 zu setzen ist.

Diese Methoden habe ich angewandt auf das Kästchen, das zur Bestimmung der specifischen Wärme diente.

Indem ich aber Formeln, welche für die Kugel entwickelt sind, auf einen anders geformten Körper, anwende, mufs ich noch den Gesichtspunkt angeben, von welchem aus mir diese Anwendung erlaubt zu seyn scheint. Die Differentialgleichungen der Bewegung der Wärme für die Kugel beruhen darauf, dafs wenn man sich eine Pyramide denkt, deren Spitze im Centrum der Kugel, deren Basis auf der Oberfläche der Kugel sich befindet, alle Bewegung der Wärme nur in einer Richtung statt findet, die senkrecht auf der Basis, keine Bewegung in Richtungen die parallel mit derselben sind. In sofern man einen anders geformten Körper in Pyramiden theilen kann, für welche dasselbe *annäherungsweise* gilt, in sofern gelten auch die Differentialgleichungen der Wärmebewegung in der Kugel für diesen *annäherungsweise.* Wenn die Vertheilung der Wärme in einem Würfel in einen Parallelepipedum etc. in irgend einem Augenblick von der Art ist, dafs man sie in concentrische Schaalen von gleicher Temperatur theilen kann, die parallel mit den Seitenflächen sind, und eine solche Vertheilung findet statt, wenn alle Theile eine gleiche Temperatur haben, so wird für alle folgende Zeit der Abkühlung durch die Oberfläche *annäherungsweise* auch dasselbe gelten — und dann kann man sich den Würfel und die Parallelepipeda u. s. w. in 6 Pyramiden getheilt denken, die Spitzen im Mittelpunkt, die Basis auf den 6 Seitenflächen, in welchen die Wärme sich nur in Richtung senkrecht auf der Basis bewegen. In sofern sich diese Vorstellung der Wahrheit nähert, werden also die Resultate, die für die Kugel erhalten sind, auch Anwendung auf das parallelepipedisch geformte Kästchen finden.

Es ist aber ein anderer Grund gegen die Anwendung obiger Relationen für die Kugel auf das Kästchen, die wenn der von dem innern Leitungsvermögen des Kästchens zu machende Gebrauch auf die Bestimmung der specifischen Wärme von merklichem Einflufs gewesen wäre,

hingereicht haben würde, mich von der Anwendung abzuhalten — diefs ist — der, dafs die Differentialgleichungen nur für feste Körper gültig sind, in dem Kästchen aber theils Wasser, theils feste Körper sich befanden, so dafs ein Theil der Wärmebewegung durch Strömung mit hervorgebracht ist. Da es aber nur darauf ankam, eine Vorstellung von der Gröfse der innern Leitungsfähigkeit zu erhalten, um die Möglichkeit der grofsen Differenz zwischen der Beobachtung und den aus den andern zuerst aufgestellten theoretischen Grundsätzen einzusehen, so habe ich nicht angestanden, nach den entwickelten Grundsätzen die innere Leitungsfähigkeit des Kastens zu bestimmen. Ich habe mich der Methode 1 und 2 bedient, die Resultate beider stimmen sehr gut mit einander überein d. h. bis $\frac{1}{18}$ des ganzes Werthes.

Ich stellte diese Versuche an mit der Füllung von destillirtem Wasser, von Wasser und Bleiglanz und Wasser und Kalkspath. Bei allen drei Füllungen fand ich, dafs die innere Leitungsfähigkeit mit der Temperatur zunimmt. Ich hatte dieselbe bei jeder Füllung für drei verschiedene Temperaturen bestimmt, und diese lassen sich hinlänglich gut mit der Annahme vereinigen, dafs die innere Leitungsfähigkeit proportional mit der Temperatur wachse; diefs *scheint* anzuzeigen, dafs der gröfste Theil der Leitung hervorgebracht wird von der Strömung des Wassers, das bekanntlich in höherer Temperatur flüssiger ist. Noch mufs ich hinzufügen, dafs die Angaben des Thermometers im Centrum des Kästchens und der Kugel nicht unmittelbar als die Temperatur des Centrums angesehen werden können, sondern nach dem individuellen Thermometer noch eine Correction erleiden müssen, nach der Gröfse seines Abkühlungs-Coëfficienten in dem Medium, in welchem es sich befindet, also in Wasser, bei den erwähnten Experimenten.

Nach dem ich noch direct die äufsere Leitungsfähigkeit des Kästchens im Wasser bestimmt hatte, waren alle

con-

constante Gröfsen gegeben, deren Kenntnifs in den allgemeinen Gleichungen über die Bewegung der Wärme erforderlich ist. Aus diesen allgemein partiellen Differentialgleichungen habe ich den Ausdruck für den Unterschied entwickelt, der bei der Methode der Mischung für die Bestimmung der specifischen Wärme im Augenblick des Maximum zwischen der erwärmten Substanz und des Wassers statt findet, so dafs ich für die Form der erwärmten Substanz wieder die der Kugel annahm; ich habe dann diesen Ausdruck angewandt auf das Kästchen, indem ich die gefundene Werthbestimmung für die Constanten: die Leitungsfähigkeiten in ihnen, substituirte, und finde diese Differenz 1,0 R., 0,9 R. und 0,9 R. für die dreierlei Füllungen mit Wasser, Kalkspath und Bleiglanz; die directen Beobachtungen, die ich oben schon erwähnt, geben 1,1; 1,1 und 1,4, nachdem sie auf die mittlere Temperatur mittelst der Abkühlungsgeschwindigkeit des Thermometers und der innern Leitungsfähigkeit des Kästchens reducirt worden waren.

Ich habe erklärt, auf welche Weise ich den Wärmeverlust, während der Zeit, dafs der Kasten aus dem Dampfbade genommen und in das kalte Wasser getaucht wurde, bestimmt habe. Auf diese Weise erhielt ich im Mittel aus sehr vielen Beobachtungen mit verschiedenen Füllungen als Verlust während 1 Chronometerschlages 0,16 R. Um mich von der *Möglichkeit* eines so grofsen Wärme-Verlustes zu überzeugen, habe ich mit dem Thermometer im Kästchen directe Beobachtungen angestellt, indem ich den Gang desselben beobachtete, nachdem ich das Kästchen aus dem Dampfbade genommen hatte. Nachdem die unmittelbare Beobachtung in Beziehung auf Abkühlungsgeschwindigkeit des Thermometers reducirt und mittelst der innern Leitungsfähigkeit auf die mittlere Temperatur des Kastens reducirt sind, finde ich diesen Verlust 0,06 R. — also nur $\frac{1}{3}$ des aus den Beobachtungen der specifischen Wärme abgeleiteten Verlustes. — Den Grund die-

ser Nichtübereinstimmung weifs ich nicht anzugeben, als in der *Unzulässigkeit der Annahme, dafs dieser Wärmeverlust proportional sey der Zeit.*

Sie sehen hieraus, dafs ich mich sorgfältig über jeden zweifelhaften Punkt aufzuklären gesucht habe, und wenn Sie die Mühe, welche ich der Untersuchung über die Corrections-Elemente gewidmet habe, Ihrem Zwecke nicht angemessen finden sollten, so werden Sie doch nicht ohne Interesse die Methoden sehen, auf welche ich geführt wurde, und die von der Anwendung, die ich von ihnen gemacht habe, unabhängig sind.

Was nun meine Beobachtungen über die specifische Wärme selbst betrifft, so ist die Anzahl der Versuche in jeder Beobachtungs-Reihe für eine bestimmte Füllung hinlänglich grofs genug, dafs die zufälligen Fehler am Endresultat klein seyn müssen; in der Regel sind es 12 Versuche für jede Füllung, diese geben 12 Gleichungen, aus welchen 2 Gröfsen nämlich die specifische Wärmemenge der Füllung und der Wärmeverlust bestimmt werden sollen. Was die Berechnung derselben betrifft, so habe ich die oben entwickelte Correction angebracht, ungeachtet ihrer Unzulänglichkeit die, wie gezeigt ist, von der in der Wirklichkeit gröfsern Differenz der Temperatur zwischen dem Kästchen und dem Wasser im Maximum der Temperatur der Mischung herrührt. Um aber jeden daher entspringenden constanten Fehler zu eliminiren, habe ich vier Beobachtungs-Reihen angestellt mit Füllungen, deren specifische Wärmemenge bekannt war, nämlich mit verschiedenen Quantitäten von Wasser, und daraus den constanten Fehler bestimmt.

Jeden einzelnen Versuch habe ich in folgende Gleichung gestellt:

$$(P) \ldots . (Ss + w + k)(D - qx) - (w + Ss)y = (W + g)d,$$

wo D die Anzahl Grade, welche in der Mischung das erwärmte Kästchen verloren, d dagegen, welche das Abkühlungs-Wasser gewonnen, beide Gröfsen schon corri-

girt nach der obigen Formel. Die Quantität des Abkühlungs-Wassers ist W, und g bedeutet eine Quantität Wasser, die mit dem Kasten gleiche specifische Wärmemenge besitzt, q die Anzahl der Chron. Schläge während des Herüberfahrens des Kastens aus dem Dampfbade in das Abkühlungswasser, und x der Wärmeverlust während eines Chron. Schlages; S und w ist das Gewicht der Substanz und des Wassers im Kästchen, s die specifische Wärme der Substanz, während die specifische Wärme des Wassers $= 1$ gesetzt ist, und k das Gewicht einer Wassermenge von gleicher specifischer Wärmemenge mit dem Kasten; y ist endlich die Anzahl von Grade, um welche die Temperatur der Füllung höher ist im Maximum der Temperatur des Abkühlungswassers als diese. Sämmtliche Versuche über dieselbe Füllung des Kästchen geben nach Elimination von x eine Endgleichung. In den eben erwähnten Versuchen, wo die Füllung nur aus Wasser bestand, war $S=0$ und die Endgleichungen werden von der Form

$$k-\mu y=\nu.$$

Die vier Beobachtungsreihen geben vier solcher Gleichungen, und aus ihnen habe ich k und y bestimmt. Durch diese Werthe wird die Formel (P) genau für vier sehr von einander entfernte Fälle, zwischen welchen alle übrige, über welche ich experimentirt habe, liegen, die also deshalb keinen constanten Fehler haben können. Gegen diese Differenz liefse sich nur der Umstand einwenden, dafs ich in der Formel die specifische Wärme des heifsen gegen kaltes Wasser $= 1$ gesetzt habe, obgleich aus meiner Untersuchung über diesen Gegenstand hervorgeht, dafs dieselbe etwas höher ist.

Da ich indessen den Werth der Zunahme der specifischen Wärme des heifsen Wassers, der sich aus meinen Beobachtungen ergiebt, noch nicht für hinlänglich sicher halten kann, so habe ich es vorgezogen, denselben $=0$ zu setzen. Daraus mufs ein kleiner constanter Feh-

ler entstehen, der sich später noch verbessern lassen wird. — Uebrigens habe ich, um durch eine Erfahrung zu bestätigen, dafs der constante Fehler, wegen der Annahme, dafs die specifische Wärme des Wassers constant sey, nur gering sey, directe Versuche gemacht, so dafs ich den Kasten mit Schwerspath und Wasser in verschiedenen Verhältnissen füllte.

1) Quantität Wasser 684,4 Gr., Quantität Schwerspath 2177,0, specifische Wärme des Schwerspaths 0,1072.
2) Quantität Wasser 1023,4, Quantität Schwerspath 2177,0, specifische Wärme des Schwerspaths 0,1071.

Diese *vollkommene* Uebereinstimmung ist zufällig.

Aufser diesem Ihnen nunmehro vollständig dargelegten Verfahren für die Bestimmung der specifischen Wärme, habe ich noch andere angewandt.

Ich habe die zu untersuchenden Mineralien unmittelbar im Dampfbade erwärmt, und dann in das Abkühlungswasser gebracht; ich habe die oben zuerst entwickelte Correction an der beobachteten Temperatur angebracht, das anhängende Wasser, welches aus dem Dampfbade mit übergeführt wurde, in Rechnung gezogen, und aus der Uebereinstimmung der so erhaltenen Resultate mit den vorhergehenden, wurde ich von der Zulänglichkeit dieser Correction in diesem Fall überzeugt. Diese Zulänglichkeit der Correction rührt her zum Theil von der sehr viel bessern innern Leitungsfähigkeit dieser derben Steinmassen, gegen die des Kästchen mit Steinstücken und Wasser gefüllt.

Ich habe, um mich noch mehr von der Hinlänglichkeit obiger Corrections-Elemente in diesem Fall zu überzeugen, die Oberflächen der Mineralien sehr vergröfsert durch Zerschlagen derselben, und ich fand keinen davon herrührenden Unterschied. Was diesem Verfahren aber im Wege steht, ist die grofse Unsicherheit, womit der Wärmeverlust während des Herüberführens der Substanz aus dem Dampfbade in das Abkühlungswasser ermittelt

wird. Endlich habe ich mich der Methode der Abkühlung bedient, mit derjenigen Verbesserung, die von Dulong herrührt, wonach die Abkühlung im luftverdünnten Raum geschieht. Ich bediente mich eines Thermometers, das statt einer Kugel einen langen dünnen freistehenden Cylinder hatte; sehr nahe über dem Cylinder war ein kleiner Ring von Messing festgelackt, auf welchem ein Gewinde eingeschnitten, worauf ein hohler messingener, von aufsen vergoldeter Cylinder, der über den Cylinder des Thermometers geschoben war, festgeschraubt wurde, so, dafs der Thermometer-Cylinder in seiner Axe sich befand. Der Zwischenraum zwischen dem Glas-Cylinder und dem vergoldeten Messing-Cylinder wurde mit der zu untersuchenden, sehr fein gepulverten Substanz ausgefüllt, und alsdann auf den Cylinder ein kleiner messingener, gleichfalls vergoldeter Deckel aufgeschoben; die Weite des Zwischenraums betrug etwa $\frac{1}{2}$ Linie. Das Thermometer wurde in ein weites, inwendig geschwärztes messingenes Gefäfs gestellt, so dafs der Cylinder in der Mitte desselben sich befand, die Scale hervorragte, über welche eine Glasglocke gestellt und an das messinge Gefäfs luftdicht festgeschraubt wurde. Das Gefäfs wurde hierauf auf den Teller der Luftpumpe gestellt, evacuirt und verschlossen wieder abgenommen. Die Erwärmung des Thermometers geschah dadurch, dafs das Gefäfs in warmes Wasser gestellt wurde, — dann wurde es, um die Abkühlung des Thermometers zu beobachten, in ein grofses Gefäfs mit Wasser, dessen Temperatur sehr nahe der der Stube war, gestellt. Die Beobachtung der Temperatur des Thermometers fing bei einem Ueberschufs derselben über die des Wassers von etwa 8° an und wurde fortgesetzt bis etwa 1°. Das Thermometer war vor dem Gebrauch kalibrirt, und es hatte eine solche Theilung, dafs 1° R. = 3,24 Theile der Scale waren, und 1 Theil der Scale etwa $\frac{1}{2}$ Linie. Die Beobachtung der Temperatur des Wassers, in welchem das Gefäfs stand, geschah

mit einem in 0°,20 R. getheilten Greiner'schen Thermometer, das genau mit demjenigen im evacuirten Raume verglichen war. Die Beobachtung des Thermometers im luftverdünnten Raum geschah immer auf einen Theilstrich, und zwar mittelst einer Lupe; man kann sehr genau sehen, wenn das Ende des Quecksilberfadens des Thermometers vom Theilstrich berührt wird, und hat wenig von den Fehlern der Parallaxe zu fürchten.

Die Beobachtungen wurden bei einem Luftdruck von 10—20 Linien angestellt, der durch ein am Gefäfs sich befindendes Manometer gemessen wurde.

Um jede Voraussetzung zu umgehen, die, wenn die Beobachtungen derselben Reihe unter einander verbunden werden sollen, um sie von den zufälligen Fehlern zu befreien, gemacht werden mufs, habe ich es vorgezogen, die Reihen selbst mit einander zu combiniren. Die Zeiten nämlich, welche das Thermometer gebraucht, von einem bestimmten Ueberschufs der Temperatur über die des Wassers, in welchem es sich befindet, zu einem andern herunter zu gehen, bei zweierlei Füllungen, stehen unter einander in einem constanten Verhältnifs. Diefs constante Verhältnifs zweier Abkühlungsdauern zwischen denselben Temperatur-Ueberschüssen, ist das der specifischen Wärmemengen des vergoldeten Cylinders mit seiner jedesmaligen Füllung. Diefs findet statt in der Voraussetzung, dafs die Oberfläche des Cylinders und die innere Fläche des evacuirten Gefäfses unverändert bleiben, und dafs die innere Leitungsfähigkeit, so wie die Abkühlungsgeschwindigkeit des Thermometers in der Füllung unendlich grofs sey gegen die Abkühlungsgeschwindigkeit des Cylinders in dem evacuirten Raume.

Wiederholte Beobachtungsreihen mit derselben Füllung stimmen aber nicht überein, und die Abweichungen sind gröfser, als dafs sie aus Beobachtungsfehler konnten erklärt werden. Den Grund dieser Nichtübereinstimmung

konnte ich bis jetzt nicht mit Sicherheit ermitteln, wahrscheinlich wirken mehrere Umstände hier zugleich.

1) Das Thermometer verändert seinen Standpunkt in dem sehr verdünnten Luftraum, dieses rückt herunter. Hiervon glaube ich mich durch directe Beobachtungen überzeugt halten zu dürfen; doch ist es schwierig, diefs mit vollkommener Sicherheit direct nach zu messen, da es sich nur um Verrückung von einigen 0,01 Theilen eines R. Grades handelt.

2) Es befindet sich eine sehr dünne Schicht hygroskopischen Wassers theils an der Oberfläche des vergoldeten Cylinders, theils im Innern des Gefäfses und der pulverförmigen Substanz. Während des Erwärmens wird sich das dadurch verdampfende Wasser, welches sich an der inneren Oberfläche des evacuirten Gefäfses befindet, an den vergoldeten Cylinder, als einen kälteren Körper, niederschlagen — und es wird sich während des Abkühlens wieder von ihm trennen, um sich an die kalte Wand des evacuirten Gefäfses niederzuschlagen; diese Ueberdestillation wird die Abkühlung beschleunigen — die Quantität des Wassers kann ganz unmerklich seyn, und doch auf das Thermometer noch eine merkliche Wirkung hervorbringen. Eine Schaale mit Chlorcalcium, das sich in dem evacuirten Gefäfs befand, reichte nicht aus, diesen störenden Einflufs zu hemmen; bei den späteren Versuchen liefs ich den evacuirten Raum mit der Schaale Chlorcalcium erst eine Nacht durch stehen, ehe ich die Beobachtungen an dem Thermometer in ihm anstellte, und da zeigte sich eine merklich gröfsere Uebereinstimmung zwischen den Beobachtungsreihen derselben Füllung. Eine künftige Einrichtung des Apparats wird also ganz vorzüglich auf Abhelfung dieses, bis dahin nicht zur Sprache gekommenen Uebel-

standes bedacht seyn müssen. Die Anzahl der Beobachtungsreihen war wenigstens immer zwei, so dafs das constante Verhältnifs der Beobachtung zweier Reihen immer wenigstens aus 18 Gleichungen abgeleitet ist.

Die Art nun, wie ich das constante Verhältnifs abgeleitet habe, ist folgende:

Nachdem ich vergeblich versucht hatte, auf eine empirische Weise die Werthe zu bestimmen, die proportional sind, den Einflüssen welche die genannten Störungen und vielleicht noch andere ausüben im Mittel auf die Abkühlungsdauer in den verschiedenen Intervallen (da sie keinem strengen Gesetz unterworfen sind), um durch eine hierauf gegründete zweckmäfsige Combination der Beobachtungen das Endresultat von diesen Einflüssen möglichst frei zu machen, habe ich mich begnügt, allein die mögliche Veränderung des Thermometers zu berücksichtigen. Diese Berücksichtigung macht zugleich den möglichen Fehler in der Beobachtung der Temperatur des Wassers, in welchem das evacuirte Gefäfs stand, unwirksam. Wenn $A A_1$ und a, a_1 die sich entsprechende Abkühlungsdauer zweier Füllungen sind, um von dem Temperatur-Ueberschufs U_0 auf $U, U_1 ..$ zu fallen, x die Veränderung des Thermometers bezeichnet und $\varphi(U)$, $\varphi(U_1)$, die Zeiten bedeuten, welche das Thermometer gebraucht, um bei $U, U_1 ..$ um 0°,3 zu fallen, so ist

$$mA + x(\varphi U_0 - \varphi U) = a$$
$$mA_1 + x(\varphi U_0 - \varphi U_1) = a_1.$$

Solcher Gleichungen habe ich immer 9, aus welchen x eliminirt und m auf eine vortheilhafte Weise bestimmt wurde. Diese Art, die Beobachtungen zu combiniren, wandte ich an auf 8 Beobachtungsreihen, die mit einer Füllung von Zinnober angestellt waren, der viermal ausgeschüttet und von neuem eingefüllt worden war, wobei sich immer nahe dieselbe Menge fand. Die Füllungen wurden immer so fest wie möglich eingestampft. Wenn

die angewandte Combination alle störende Einflüsse eliminirt hätte, so hätte m hier müssen für je zwei $=1$ werden; ich fand aber für diese Gröfse in den einzelnen Beobachtungsreihen, in Beziehung auf das Mittel aus sämmtlichen Beobachtungsreihen, folgende Werthe:

1. Gewicht des eingefüllten Zinnobers.		Werth von m.
1)	335.1	1−0.002
2)	335.1	1−0.003
3)	338.2	1+0.002
4)	338.2	1+0.000
5)	338.8	1+0.008
6)	337.6	1+0.007
7)	337.6	1−0.006
8)	337.6	1+0.004.

Hieraus schliefse ich, dafs m auf die angegebene Weise bestimmt keine gröfsere Fehler als 0.01 erhält. Um diefs zu unterstützen, füge ich noch die Werthe von m, welche drei Beobachtungsreihen mit derselben Füllung von Kalkspath in Beziehung auf das Mittel gaben, hinzu:

$$1:1-0.0064$$
$$1:1+0.006$$
$$1:1-0.002.$$

Wenn f und F die Quantitäten zweier Füllungen, für welche die Abkühlungszeiten in dem Verhältnifs $m:1$ stehen, und s und S die specifische Wärme der füllenden Substanzen bezeichnen, so ist

$$fs+\alpha:FS+\alpha=m:1 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad \text{(I)}$$

wo α die Summe der specifischen Wärmemengen in dem vergoldeten Cylinder, im Glase und im Quecksilber des Thermometer-Cylinders bezeichnen. Es giebt zwei Wege, diefs α zu bestimmen. Zuerst direct: ich habe das Gewicht des vergoldeten Cylinders bestimmt (=15.8,1 Gr.); das Gewicht des Glases und das Gewicht des Quecksilbers im Cylinder des Thermometers habe ich annäherungsweise gleichfalls bestimmt, jenes zu 16.3 Gr., dieses zu

127,6 Gr., und finde die Gröſse α, bei meinem Apparat, wenn die Gewichtseinheit 1 Gr., und die specifische Wärme des Wassers $=1$ gesetzt wird, die specifische Wärme des Quecksilbers $=0{,}033$, des Glases 0,177, des Messings $=0{,}093$, diese Gröſse $=21{,}87$ Gr. Es hat mir aber sicherer geschienen, mich einer andern Methode zu bedienen, diese Gröſse nämlich aus den Beobachtungen über die Abkühlung selbst abzuleiten. Wenn S in der Gleichung (I), die zu suchende specifische Wärme vorstellt, so kann man ihre Abhängigkeit von m durch folgende Relation darstellen:

$$x+y(1-m)-mSF=0,$$

wo x und y zwei durch zwei oder mehrere Beobachtungen mit Füllung von bekannter specifischer Wärme zu bestimmende constante Gröſsen bedeuten.

Ich habe diese Gröſsen aus vier Gleichungen, die sich auf Füllungen bezogen, welche in der Hinsicht auf m und S, und in Hinsicht ihres innern Leitungsvermögens sehr verschieden waren, nämlich aus Gleichungen, die sich auf Füllungen mit Kalkspath, Spatheisenstein, Antimon-Metall und Schwefel bezogen, abgeleitet.

	Gewicht der Füllung.	m.	Spec. Wärme.		Fehler.
	Gr.				
Schwefel .	78	1,122	0,188	$x-y.0{,}122-16{,}44$	$+1{,}86$
Antimon .	229	1,266	0,150	$x-y.0{,}266-14{,}49$	$-0{,}82$
Kalk . . .	114	1, 00	0,205	$x-\quad-23{,}37$	$-1{,}15$
Spatheisen .	163	0,878	0,182	$x+y.0{,}122-26{,}04$	$+0{,}10$
		$x=$	22,22		
		$y=$	32,16		

Die specifische Wärme für Kalk und Spatheisenstein, die hier angewandt ist, sind meine Bestimmungen nach der Methode der Mischung, die für Schwefel und Antimon gehören Dulong. Ich wählte absichtlich so, um diese Methode nicht ganz von meinen sonstigen Resultaten abhängig zu machen. Es ist auffallend, daſs $y=\alpha$, auf diesem Wege bestimmt, um $\frac{1}{3}$ gröſser ausfällt, als der vorige directe Weg für dieselbe Gröſse giebt. Ich habe noch

Digitized by Google

nicht untersucht, ob etwa dadurch, dafs die innere Leitungsfähigkeit und die Abkühlungs-Geschwindigkeit des Thermometers gegen die Füllung nicht unendlich grofs ist gegen die Abkühlung des vergoldeten Cylinders im luftverdünnten Raum, eine Wirkung entstehen kann, als wäre α gröfser als es in der That ist. Diefs verschiedene Resultat für α zeigt übrigens, dafs das letztere Verfahren zur Bestimmung dieser Gröfse allein kann angewandt werden.

In der folgenden Tafel habe ich die bis jetzt erhaltenen Resultate über die Werthe der specifischen Wärmen zusammengestellt, und zwar so, dafs ich die nach den verschiedenen Methoden erhaltenen gesondert habe.

	Methode der Mischung		Methode der Abkühlung	
	Im Kästchen.	Frei.		
Schwerspath	0,1071 0,1072 0,1060	—	—	Spec. Gr. 4,429, krystallinische Bruchstücke weifs, stark durchscheinend.
Cölestin	...	0,130 0,130	—	Spec. Gr. 3,955, krystallinische Bruchstücke weifs, stark durchscheinend. Nord-Amerika.
Anhydrit	0,1854	—	0,169	Spec. Gr. 2,955, krystallinische Bruchstücke, durchscheinend, von eingesprengtem Salz und Gyps sorgfältig gereinigt.
Schwefelkies	0,1323	0,131	—	Spec. Gr. 5,042 Würfel. St. Gotthardt.
Speerkies	0,1332	—	—	Spec. Gr. 4,882 Krystalle. Libschitz in Böhmen.
Arragonit	0,1966	—	—	Spec. Gr. 2,926 stengliche Bruchstücke weifs, schwach durchscheinend.
Kalkspath	0,2015	0,2091 0,2096	0,195	Spec. Gr. 2,750, krystallinische Bruchstücke weifs, durchsichtig.
Bitterkalkspath	0,2179	—	—	Spec. Gr. 2,914, rhomboëdrische Bruchstücke mit der Neigung 106°,15'; weifs, durchsichtig. Zillerthal.

Digitized by Google

	Methode der Mischung.		Methode der Abkühlung.	
	Im Kästchen.	Frei.		
Bitterkalkspath	0,2137	—	—	Spec. Gr. 2,918, rhomboëdrische Bruchstücke mit der Neigung 106°15; weiſs, schwach durchscheinend. Weyler Stauden am St. Gotthardt.
Gurhofian	—	0,2168	—	Gurhof.
Eigentlicher Bitterspath oder blättr. Magnesit . . .	0,2270	—	—	Spec. Gr. 3,037, rhomboëdrische Bruchstücke mit der Neigung 107°,20′, gelb, die Kanten durchscheinend. Weyler Stauden und dem Bitterkalkspath von eben daher verwachsen.
Spatheisenstein	0,1820	—	0,183	Spec. Gr. 3,872. Dankerode.
Galmey	—	0,1712	0,161	Sibirien.
Rotheisenstein	—	0, 166(*)	—	Spec. Gr. 5,079.
Eisenglanz	—	—	0,163	Elba.
Bergkrystall	0,1894	—	—	Spec. Gr. 2,61. Fischer, Mechan. Naturlehre findet die spec. Wärme 0,190.
Schwefel	—	—	0,209	Schwefelblumen wurden erst gewaschen. Lavoiser und La Place fanden die spec. Wärme 1,2085, und Dulong 0,118.

	Methode der Mischung.		Methode der Abkühlung.	
	Im Kästchen.	Frei.		
Antimon	—	—	0,047	Käufliches Metall. Dulong findet 0,050.
Zinnober	—	—	0,0520	Käufliches.
Realgar	—	—	0,130	Spec. Gr. 3,240. Käufliches.
Rothes Quecksilberoxyd	—	—	0,049	Käufliches. L. L. fanden 0,050.
Wismuthmetall	—	—	0,027	Käufliches. Dulong fand 0,0288.
Grauspiesglanz	—	0,083(*)	0,092	Spec. Gr. 4,603, krystall. Bruchstücke.
Bleiglanz	—	0,044(*)	0,053	Spec. Gr. 7,568, krystall. Bruchstücke. Tarnowitz in Oberschlesien.
Blende	—	0,113(*)	0,112	Spec. Gr. 4,060, krystall. Bruchstücke.
Zinkoxyd	—	—	0,132	
Uranoxydul	—	—	0,106	
Uranpecherz	—	—	0,106	
Kupferoxyd	—	—	0,137	
Chromoxyd	—	—	0,196	
Zinnstein	—	—	0,0895	Spec. Gr. 6,952, schwarz. Einzelne Krystalle.
Molybdän	—	—	0,102	
Minium	—	—	0,0611	L. L. fanden 0,0622.
Antimonichte Säure	—	—	0,130	
Magnesia	—	—	0,276	
Antimonoxyd	—	—	—	

Die in dieser Tafel mit einem (*) bezeichneten Werthe sind erhalten, indem die Substanzen grob zerbröckelt in einem Drathgitter gethan im Dampfbade erwärmt wurden. — Diese Werthe halte ich für weniger sicher, wegen des vielen anhaftenden Wassers, indem sie aus dem Dampfbade genommen werden, das den Wärme-Verlust während des Herüberfahrens aus dem Dampfbade in das Abkühlungswasser sehr unregelmäfsig macht. Das untersuchte Zinkoxyd, Kupferoxyd, Minium, die Antimonichte Säure(?) die Magnesia rührt aus der chemischen Handlung von Luhme in Berlin — durch dieselbe Handlung erhielt ich noch das Uranoxydul(?) und Chromoxyd.

Dulong hat die specifische Wärme der Metalle untersucht, und in Folge dieser Untersuchung hat er das wichtige Gesetz entdeckt, dafs die specifische Wärmen sich umgekehrt wie ihre stöchiometrischen Werthe verhalten; dabei hat er einige Ausnahmen entdeckt. Die specifische Wärme vom Antimon und Arsenik ist nicht in diesem Gesetz begriffen; beide Metalle gehören zu den wenigen regulinischen Metallen, welche nicht das regulaire Krystall-System haben — es entstand der Zweifel, ob jenes Gesetz sich auch allein auf die chemische Masse bezieht, und nicht bedingt sey durch die krystallinische Form? Unter den von mir untersuchten Substanzen befinden sich solche, die bei gleicher chemischer Beschaffenheit verschiedene Krystallformen haben, nämlich Arragonit und Kalkspath, Schwefelkies und Speerkies. Die vollkommene Uebereinstimmung der specifischen Wärmen für Schwefelkies und Speerkies, und die geringe Verschiedenheit für Arragonit und Kalkspath, zeigt, dafs das Gesetz an die chemische Masse gebunden ist, und dafs jene Ausnahmen, welche Antimon und Arsenik vom Dulong'schen Gesetz machen, nicht durch ihre von der regulairen abweichende Krystallform können erklärt werden.

Die von mir untersuchten specifischen Wärmen beziehen sich grofsentheils auf chemisch zusammengesetzte

Substanzen, und für diese läfst sich ein ähnliches Gesetz, wie das **Dulong**'sche für die chemisch-einfachen ist, aufstellen; auch bei den chemisch zusammengesetzten Substanzen finde ich ein einfaches Verhältnifs zwischen der specifischen Wärme und der stöchiometrischen Quantität. Stöchiometrische Quantitäten nenne ich bei chemisch ähnlich zusammengesetzten oxydirten Stoffen, z. B. bei den wasserlosen kohlensauren Salzen, solche Quantitäten, in welchen gleiche Quantität Sauerstoff vorhanden ist — bei den geschwefelten Substanzen ist der Schwefel das Maafs der stöchiometrischen Quantität. — Andere Verbindungen habe ich bis jetzt noch nicht untersucht.

Es verhalten sich bei chemisch ähnlich zusammengesetzten Stoffen die specifische Wärme umgekehrt wie die stöchiometrischen Quantitäten, oder was dasselbe ist, *die stöchiometrische Quantitäten bei chemisch ähnlich zusammengesetzten Stoffen besitzen gleiche specifische Wärme-Quantität.*

Diefs Gesetz entdeckte ich zuerst bei den kohlensauren Salzen.

	Stöchio. Quantität.	Beob. specif. Wärme.	*A.*	*B* Be- rechn. specif. Wärme	*C.*
Kalkspath	$\dot{Ca}\,\ddot{C}$ =6,32	0,2044	1,292	0,2057	−0,0013
Bitterkalkspath	$\frac{\dot{Ca}\,\ddot{C}+\dot{Mg}\,\ddot{C}}{2}$ =5,88	0,2161	1,271	0,2211	−0,0050
Magnesitspath	$\frac{7\dot{Mg}\,\ddot{C}+2\dot{Fe}\,\ddot{C}}{9}$ =5,75	0,2270	1,305	0,2261	+0,0009
Spatheisenstein	$\dot{Fe}\,\ddot{C}$ =7,15	0,1819	1,300	0,1819	0,0000
Galmey	$\dot{Z}\,\ddot{C}$ =7,79	0,1712	1,335	0,1669	+0,0043
			1300		

Die Spalte *A* enthält das Produkt der specifischen Wärme und der stöchiometrischen Quantität, in welcher die Sauerstoff-Menge =3 genommen ist; mit dem Mittel dieses Produkts 1,300 ist nach dem angegebenen Gesetz die speci-

cifi-

cifische Wärme in *B* berechnet, und *C* enthält die Unterschiede der Beobachtungen von den berechneten Werthen. Diese Unterschiede erklären sich zum Theil dadurch, dafs diejenige chemische Zusammensetzung, welche hier angenommen ist, nicht in aller Strenge stattfindet, sondern mehr oder weniger Beimengungen in diesen Mineralien sich finden. Dasselbe Gesetz findet statt bei den wasserfreien schwefelsauren Salzen.

	Stöchiometrische Quantität.	Beob. spec. Wärme.	*A.*	*B* Ber. spec. Wärme.	
Schwerspath	$Ba\dddot{S}$=14,58	0,1068	1,557	0,1061	+0,0007
Anhydrit	$Ca\dddot{S}$= 8,57	0,1854	1,589	0,1804	+0,0050
Cölestin	$Sr\dddot{S}$=11,48	0,130	1,492	0,1346	—0,0046
			1,546		

Unter den untersuchten Stoffen befindet sich eine Reihe Oxyde, die so zusammengesetzt sind, dafs ein Antheil Metall mit einem Antheil Sauerstoff verbunden ist.

	Stöchiometrische Quantität.	Beobacht. spec. Wärme.	*A.*	*B* Ber. spec. Wärme.	
Talkerde . .	2,58	0,276	0,712	0,270	—0,006
Rothes Quecksilberoxyd	13,66	0,049	0,671	0,051	—0,002
Zinkoxyd . .	5,03	0,132	0,664	0,138	—0,006
Kupferoxyd .	4,957	0,137	0,680	0,140	—0,003
Kalkerde . .	3,56	0,271	0,772	0,196	+0,021
			0,697		

Die Angabe der specifischen Wärme für Kalkerde rührt von Laplace und Lavoisier her.

Unter den untersuchten geschwefelten Stoffen findet sich eine Anzahl Substanzen, die so zusammengesetzt sind,

dafs ein Antheil Metall mit einem Antheil Schwefel verbunden ist.

	Stöchiometrische Quantit.	Beob. spec. Wärme.	A.	Berechn. spec. Wärme.	D.
Zinnober	14,66	0,052	0,762	0,052	0,000
Realgar	6,71	0,130	0,872	0,113	+0,017
Bleiglanz	14,95	0,053	0,791	0,051	0,002
Blende	6,04	0,112	0,604	0,125	—0,013
			0,757		

Unter den untersuchten Oxyden finden sich drei, die so zusammengesetzt, dafs zwei Antheile Metall mit drei Antheilen Sauerstoff verbunden sind.

	Stöchiometrische Quantit.	Beob. spec. Wärme.	A.	Berechn. spec. Wärme.	D.
Eisenoxyd	9,78	0,164	1,604	0,182	—0,018
Minium	28,89	0,0616	1,779	0,0615	+0,000
Chromoxyd	10,03	0,196	1,963	0,177	0,019
			1,782		

Ich glaube nicht, dafs grofse Zweifel gegen die Gültigkeit des von mir aufgestellten Gesetzes sich erheben lassen (wenn man bedenkt, dafs die angewandten Stoffe nicht chemisch rein waren, und diejenigen, welche im pulverförmigen Zustande untersucht worden, nicht ganz von dem Einflufs der inneren Leitungsfähigkeit befreit seyn möchten), dafs nämlich innerhalb derselben chemischen Klassen, d. i. solcher Substanzen, die eine stöchiometrisch ähnliche Zusammensetzung haben, die specifische Wärme sich umgekehrt wie die stöchiometrischen Quantitäten verhalten — ich fahre aber, um jeden Zweifel bei der Wichtigkeit eines solchen Gesetzes und wegen seines Einflusses, den es auf andere Zweige der Wissenschaft haben wird, mit der Untersuchung fort — ob

es streng gilt innerhalb der Thermometerskale, da der Werth der specifischen Wärme sich mit der Temperatur verändert — ob es allgemein gilt, oder ob Ausnahmen, wie Dulong im Antimon und Arsenik aufgestellt hat, vorhanden sind — ich setze diese Untersuchung fort, um zur Entscheidung einer Hauptfrage zu gelangen: *unter welchem Gesetz stehen die specifischen Wärmemengen der verschiedenen Klassen unter einander?* — ich ent-enthalte mich hierüber jeder Aeufserung als noch zu wenig begründet, und bemerke nur, dafs es einfache Verhältnisse zu seyn scheinen, wodurch die Klassen im Zusammenhang, in Hinsicht ihrer specifischen Wärmemengen, stehen. Die specifische Wärmemenge der kohlensauren Salze verhält sich zur specifischen Wärmemenge der schwefelsauren sehr nahe wie 7 : 8. Die specifischen Wärmemengen der oxydirten Metalle, in welchen die Antheile Metall und Sauerstoff sich wie 1 : 1 verhalten, stehen zu der specifischen Wärmemenge der Oxyde, in welchen die Metalle zum Sauerstoff sich wie 2 : 3 verhalten, sehr nahe in dem Verhältnifs wie 2 : 5; sollten die Oxyde, in welchen das Metall zum Sauerstoff sich wie 1 : 1 verhält, eine gleiche specifische Wärmemenge mit der analogen Schwefelungsstufe haben?

Nachschrift. Die Fortsetzung meiner Untersuchung über die specifische Wärme geschieht mit einem Apparat, von dem ich mir eine viel gröfsere Sicherheit in den einzelnen Resultaten verspreche, und ohne jene weitläufige und mühsame Reduction zu bedürfen, die ich Ihnen im vorhergehenden Schreiben entwickelte. Dieser Apparat ist nachgebildet demjenigen, den ich anwandte, um die specifische Wärme des Wassers zu untersuchen, mit denjenigen Veränderungen, die erforderlich waren, um feste Körper aus einem trockenen Raum, der durch die umgebenden Wasserdämpfe constant in der Temperatur der

3*

[illegible] wird, unmittelbar in das Abkühlungs-[illegible] fallen zu lassen.

Die Untersuchung, die ich mit Hülfe dieses Apparats angestellt habe, geben sehr gut übereinstimmende Resultate. Mit Witherit (kohlensaurer Baryterde) habe ich vier Versuche angestellt, und sie geben als specifische Wärme:

1) 0,107
2) 0,108
3) 0,109
4) 0,109.

Mit Weiſs-Bleierz sind drei Versuche angestellt:

1) 0,0801
2) 0,0822
3) 0,0803.

Mit Bleivitriol:

1) 0,0848
2) 0,0825.

Sie sehen, wie wünschenswerth diese einzelnen Beobachtungen übereinstimmen, die ich hervorhebe, um den Schluſs anzuknüpfen, daſs das Resultat derselben das von mir aufgestellte Gesetz vollkommen bestätigt. Als Mittel ergiebt sich die specifische Wärme des Witherits 0,108, seine stöchiometrische Quantität ist 12,31, das Product beider Zahlen 1,329; statt des damals sich ergebenden 1,300; aus dieser letzten Zahl würde die specifische Wärme des Witherits seyn 0,106. Für Weiſs-Bleierz ist als Mittel aus den drei Beobachtungen die specifische Wärme 0,081, die stöchiometrische Quantität 16,68, und das Product beider 1,35; aus der damals gefundenen specifischen Wärmemenge 1,300 würde für Weiſs-Bleierz die specifische Wärme durch Rechnung sich ergeben haben 0,078.

Das Mittel aus der specifischen Wärme für Bleivitriol, 0,83, bestätigt das Gesetz für die wasserfreien schwefelsauren Verbindungen; die stöchiometrische Quantität ist 18,95, und die specifische Wärme sollte also $\frac{1,546}{18,95}$ $=0,082$ statt 0,083 seyn.

Endresultate der Bestimmung der specifischen Wärme.

(Ohne Correction der Leitungsfähigkeit etc., welche höchstens 0,001 betragen wird.)

Adular. Gotthardt.	Albit. Penig.	Feldspath. Lomnitz.	Labrador. ?	Kalkspath.
0,185	0,196	0,190	0,1931	0,203
188	194	190	1927	206
1866	196	191	1935	2050
1860	1953	1932	1906	2050
1850	1993	1905	1931	2057
		1917		2030
0,1861	0,1961	0,1911	0,1926	0,2046

Witherit.	Weiſs-Bleierz.	Bleivitriol.	Grauspieſsglanz.	Quarz.
0,107	0,0801	0,0848	0,0913	0,1916
108	0822	0825	0914	1878
109	0803	0867	0895	1877
105	0834	0846	0908	1869
1098	0804	0838	0904	1878
1081	0822	0867		
0,1078	0,0814	0,0848	0,0907	0,1883

Eisenglanz. Elba.	Zinnstein.	Zinkmetall.	Kohlens. Stront.	Rauschgelb. Persien.
0,1704	0,0935	0,0929	0,1468	0,1141
1681	0935		1469	1132
1690	0927		1451	1141
1695	0927		1447	1125
1692	0929		1390	1121
0,1692	0,0931		0,1445	0,1132

Realgar. Käufliches.	Rutil.	Topas.	Hornblende. Basalt. Böhm.	Strahlstein.
0,1123	0,1754	0,2000	0,1983	0,2066
1116	1713	2037	1973	2041
1109	1725		1993	2040
1109	1705		1956	2045
1098	1722		1975	2041
0,1111	0,1724		0,1976	0,2046

Hornblende. Freiberg.	Tremolith.	Zoisit. Fichtelgebirge.	Augit. Basalt. Böhm.	Diopsid. Tyrol.
0,1968	0,2077	0,1926	0,1930	0,1906
1967	2066	1948	1934	1902
1943	2052	1939	1950	1889
1957	2079	1934	1937	1915
1956	2075	1956		1920
0,1958	0,2070	0,1940		0,1906

Arragonit. Freiberg.	Cölestin. N. Amerika.	Kupferkies.	Iserin. Iserwiese.	Schwerspath
0,2024	0,1366	0,1297	0,1774	0,1088
1999	1361	1282	1751	1088
1988	1360	1280		
2047	1332	1298		
2035	1362			
0,2018	0,1356			

Flufsspath.	Gyps.
0,2080	0,2735
0,2084	0,2720

Uranpecherz. Sachsen.	Korn. Zinnerz. Mexico.	Magneteisen.	Chrysolith.	Glanzkobalt.
0,1006	0,0963	0,1638	0,2060	0,1080
1015	0970	1652	2069	1073
1032	0961	1650	2039	1073
1031		1637	2064	1064
1031		1627	2047	1065
0,1023		0,1641	0,2056	0,1070

Magnetkies.	Molybdän.	Speiskobalt.	Rothkupfererz.	Corund.
0,1527	0,1062	0,0918	0,1087	0,1999
1552	1064	0924	1079	1928
1534	1068	0923	1061	1915
1528	1064	0918	1066	1933
1526	1075	0915	1074	1937
0,1533	0,1067	0,0920	0,1073	0,1942

Blende.	Schwefelkies.	Parat. Kalk. Steiermark.	Arsenikkies.	Grauspiefsglanz. Felsőbanya.
0,1148	0,1267	0,1956	0,1002	0,0878
1156	1278	1910	1011	0877
1132	1279	1985	1019	0880
		1996	1010	0882
		1969	1018	0870
		0,1963	0,1012	0,0877

Saphir. (Geschiebe.)	Fahlkies.
0,1955	0,1275
2001	1291
1965	1284
1958	1279
1982	
0,1972.	

II. *Bestimmung der specifischen Wärme des Wassers in der Nähe des Siedpunkts gegen Wasser von niedriger Temperatur;*
von F. E. Neumann.

De Luc beobachtete, als er gleiche Quantitäten warmen und kalten Wassers mit einander vermischte, daſs die Temperatur der Mischung, mit einem Quecksilber-Thermometer gemessen, nicht das arithmetische Mittel sey aus der Temperatur des kalten und des warmen Wassers. Er schloſs hieraus, daſs das Quecksilber-Thermometer keinen mit der Wärme proportionalen Gang habe, und er sah sich, auf mehrere ähnliche Versuche gestützt, veranlaſst, statt der gewöhnlichen Skale dieses Thermometers, eine andere zu substituiren. Diese neue Thermometerskale müſste auch zwischen den beiden festen Punkten für das Luftthermometer gelten, da beide, nach der Untersuchung von Gay-Lussac, denselben Gang zwischen diesen Punkten befolgen. De Luc wollte in dieser neuen Thermometerskale eine solche geben, bei der gleiche Wärmeunterschiede gleichen Temperaturunterschieden entsprechen. Wäre statt des Wassers ein anderer Stoff genommen, so würde die Skale wahrscheinlich anders ausgefallen seyn; die angestellten Versuche eigneten sich, um eine Skale, wie er sie beabsichtigte, für Wasserthermometer zu construiren — wenigstens nur eine solche in der gleiche Temperaturunterschiede gleichen Wärmeunterschieden im Wasser entspricht. Daſs nämlich die Mischung in den De Luc'schen Versuchen nicht dem arithmetischen Mittel der Temperatur des kalten und warmen Wassers entsprach, kann noch aus einem andern Grunde erklärt werden, nämlich aus der Verschiedenheit

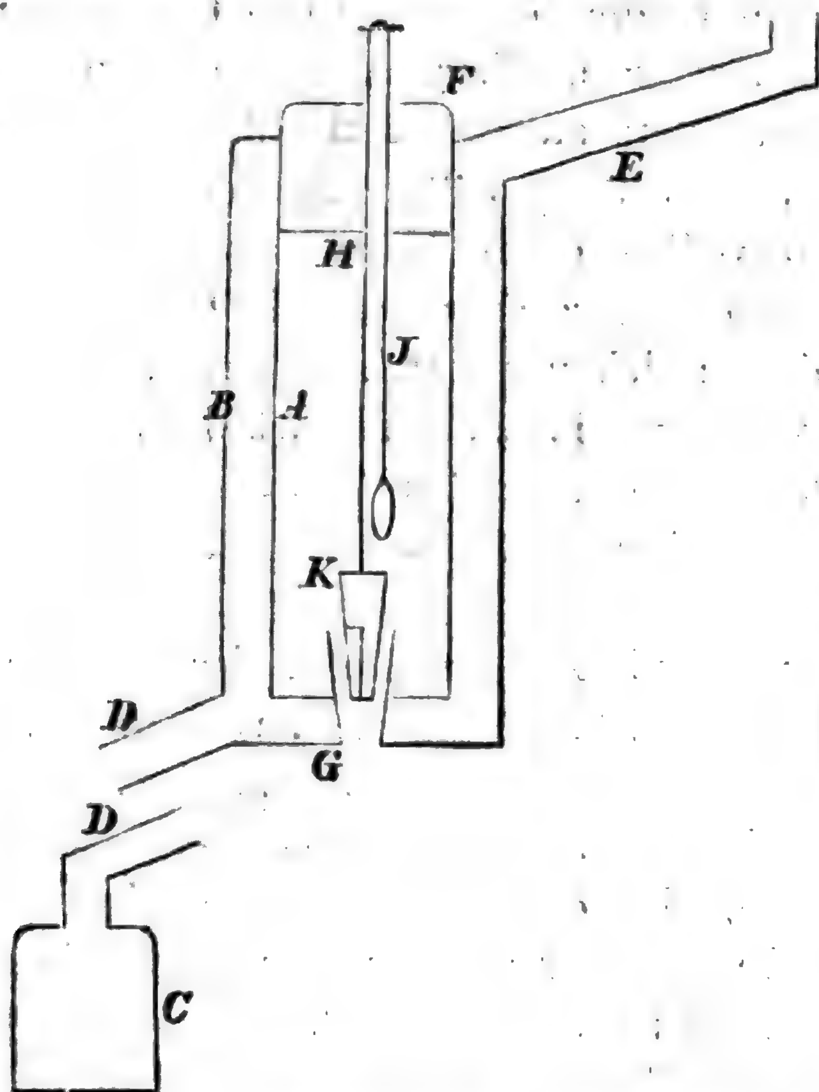
der specifischen Wärme des kalten und des heifsen Wassers, und wenn die specifische Wärme eine Function von der Temperatur, die bei verschiedenen Stoffen verschieden ist, so sieht man, dafs jeder Stoff seine eigenthümliche Thermometerskale bekömmt, die die von De Luc beabsichtigte Bedeutung hätte. Solche Thermometerskalen würden vielleicht von Nutzen seyn, um einige Phänomen, deren Gesetz sehr verwickelt zu seyn scheint, z. B. die der Ausdehnung durch Wärme, unter einfachere Gesichtspunkte zu bringen. Man würde diese Skalen für jede Substanz berechnen können, wenn für sie die Relation ihrer specifischen Wärme mit der Temperatur bekannt wäre.

De Luc fand die Temperatur der Mischung niedriger als das arithmetische Mittel, und hieraus folgt, dafs das heifse Wasser eine geringere specifische Wärme als das kalte habe — dafs es beim Wasser sich also umgekehrt verhalte als bei den Metallen und beim Glas, für welche Dulong ein Zunehmen der specifischen Wärme mit der Temperatur gefunden hat. Die Untersuchungen von De Luc sind später wieder aufgenommen von Flaugergues; auch dieser Gelehrte fand die Temperatur der Mischung niedriger als das arithmetische Mittel, und aus seinen mit besonderem Fleifse angestellten Beobachtungen folgt im Mittel eine Abnahme der specifischen Wärme von 0,0092 des Wassers bei Siedhitze gegen Wasser von 0°. Das Resultat von De Luc und Flaugergues über die Abnahme der specifischen Wärme des Wassers ist endlich von Ure bestätigt.

Andere Beobachtungen, wenigstens widersprechende, sind über diesen Gegenstand nicht vorhanden, der mir wichtig genug scheint, um die Beobachtung, die ich darüber angestellt habe, zumal sie den vorhandenen, wie ich glaube, entscheidend widersprechen, hier mitzutheilen.

Das Hauptstück des von mir in diesen Versuchen angewandten Apparats bestand in einer Vorrichtung, um

das heifse Wasser mit einer hinlänglich sicher bekannten Temperatur in das kalte Wasser zu bringen. Ein cylin-



drisches Gefäfs von Weifsblech A befand sich in einem zweiten solchen Gefäfs B; in den Zwischenraum beider Gefäfse traten durch die Röhre D die Dämpfe des im Gefäfse C siedenden Wassers, diese traten durch die Röhre E wieder heraus, nachdem sich hier ein Stanniolblättchen aufgehoben hatte. Dieser Dampf diente dazu, das Wasser, dessen specifische Wärme untersucht werden sollte, und das in dem ersten Gefäfs A sich befand, zu erwärmen. Das Gefäfs A war oben offen, und wurde hier durch einen Pfropfen F verschlossen, um die Verdampfung des Wassers in ihm an der Oberfläche geringer zu machen. Durch diesen Pfropfen ging ein starker Messingdraht, die Handhabe des in der kleinen Messingröhre G konisch eingeschliffenen Zapfens K. — Die Röhre G sowohl als der Zapfen K waren so durchbohrt, dafs durch

Drehung der Handhabe H die Oeffnung dieser Röhre geöffnet und verschlossen werden konnte. Dieser Apparat wurde, nachdem das Wasser in C hinlänglich lange gesiedet hatte, d. h. nachdem das Wasser in A eine constante Temperatur angenommen hatte, so gestellt, dafs die Oeffnung der Röhre G sich über dem Gefäfs befand, in welchem das kalte Wasser, mit welchem das in A befindliche gemischt werden sollte. Das Wasser in A nimmt, in Uebereinstimmung mit der Theorie, eine constante Temperatur an. Diese kann nur wenig verschieden seyn von der Temperatur des Wasserdampfes, der, durch den Zwischenraum der Gefäfse A, B streichend, durch E in die Luft tritt. Wenn die Fläche, welche in F mit der Luft in Berührung durch f bezeichnet wird, und durch a die Fläche, in welcher A durch den Dampf berührt wird, dessen Temperatur t, wenn β und α die Schnelligkeit des Wärmeverlustes durch diese Flächen, so ist x, die Temperatur des Wassers in A bestimmt durch folgende Relation, wenn λ die Temperatur der Luft bezeichnet:

$$a \,.\, \alpha(t-x)=f\beta(x-\lambda).$$

Da immer $x-\lambda$ eine positive Gröfse, so mufs x kleiner als t seyn. Um diesen Unterschied $t-x$ zu ermitteln, befand sich neben der Handhabe H ein Thermometer I, dessen obere Theilung aus dem Pfropfen F hervorragte.

Bei Anstellung der Versuche wurden zugleich der Barometerstand und das Thermometer I beobachtet. Die Skale des Thermometers war so getheilt, dafs der Siedpunkt bei 177,1 (bei 28″ Bar. auf 0° reduc.) und jedes Intervall der Theilung 0,509 R. betrug. Der Siedpunkt war vor den Versuchen bestimmt, und er wurde unverändert gefunden nach Beendigung derselben; wenigstens betrug die Veränderung nicht viel über 0°,1 dieser Eintheilung, welches die Gränze sicherer Ablesung ist.

Es wurden drei Beobachtungsreihen angestellt, und die Vergleichung der aus dem Barometerstand abgeleiteten Temperatur des Dampfs in (A, B) (in der Voraus-

setzung, dafs eine Linie im Barometerstand entspricht 0,072 R. oder 0,141 der Skale des Thermometers *I*) mit der Temperatur des Wassers in *A* giebt folgende Tafel, in welcher durch I, II, III die Beobachtungsreihen bezeichnet sind.

	Barometer.	Temp. d. Baromet.	Berechnete Temperatur des Dampfes.	Beobachtet *T* in *A*.	Temp. der Luft.	$t-x$.
I	27″ 8‴,77	−1,0	176,74	176,3	17,5	0,35
	28 5 ,77	+0,2	177,91	177,6	17,2	0,31
II	28 3 ,92	+2,4	177,63	177,2	18,5	0,43
	28 3 ,01	+2,8	177,50	177,36	17,0	0,14
III	28 3 ,79	+2,8	177,61	177,25	17,0	0,36
					Mittel	0,32

Woher die Abweichungen der einzelnen Beobachtungen vom Mittel kommen, die gröfser als mögliche Beobachtungsfehler im Ablesen des Thermometers *I*, sind weifs ich nicht zu erklären; ich habe mich überzeugt, dafs der Stand dieses Thermometers nicht verändert wurde, wenn der Pfropfen *F* weggenommen war; auch veränderte es sich nicht, wenn die Skale desselben durch Heraufziehen innerhalb eines Zolles verändert wurde. Andere zufällige Umstände, die Einflufs haben konnten, bemerkte ich nicht; der Grund scheint mir in der veränderten hygroskopischen Beschaffenheit der Luft und in Veränderungen, die im Thermometer selbst vorgehen, zu liegen. — Ich habe es demzufolge für das Sicherste gehalten, von der mit dem Barometer berechneten Temperatur 0°,168 R. abzuziehen, und diese so erhaltene Temperatur als die wahre Temperatur des Wassers in *A* anzusehen; die Abweichungen in den einzelnen Beobachtungsreihen von diesem Mittel 0,168 R., die merklich nur in der Isten sich finden, sich aber auch hier nahe aufheben, sind übrigens, wie sich ergeben wird, von einem *sehr geringen* Einflufs auf das Endresultat.

Die näheren Umstände bei den Versuchen waren nun folgende:

Das kalte Wasser befand sich in einem kupfernen Gefäfs, dessen Gewicht 1513$^{gr.}$,4. Es wurde mittelst eines Blechs, das an einem Draht befestigt war, fleifsig vor und während der Mischung umgerührt, um mittelst des darin befindlichen Thermometers die wahre mittlere Temperatur dieses Wassers zu erhalten. Das Gewicht dieses Messingbleches mit dem Draht betrug 148$^{gr.}$,8; von dem Draht waren nach der Mischung des kalten und heifsen Wassers nicht vom Wasser berührt 16 Gr. Zu der Quantität des kalten Wassers, das durch das heifse erwärmt wurde, sind also $1513{,}4\, S_k + 140\, S_m$ zu addiren, wo S_k und S_m die specifische Wärme des Kupfers und des Messings bezeichnen, und wo für den nicht vom Wasser berührten Theil des Drahts angenommen ist, dafs er halb so viel Wärme erhält, als der vom Wasser berührte Theil desselben, eine Annahme, die nur annäherungsweise richtig ist, aber ohne allen merklichen Einflufs bleibt.

Nach Dulong ist $S_k = 0{,}094$, und für Messing nahm ich S_k 0,093, weil die specifische Wärme des Zinks nach Dulong 0,092 beträgt; darnach wird jene zur Quantität des kalten Wassers zuaddirende Gröfse 155,2.

Das Thermometer (M), zur Bestimmung der Temperatur des kalten Wassers und der der Mischung, ursprünglich zu einem andern Zweck eingerichtet, hatte die Einrichtung, dafs die Glasröhre neben der Skale sich befand, auf der Skale bewegte sich ein Schieber, an welchem

1) ein Mikroskop befestigt war, das zur Beobachtung der Quecksilberhöhe bestimmt war, und
2) ein Nonius zu der Theilung, welche auf der Skale sich befand, gehörig; mittelst dieses Nonius wurde $\frac{1}{50}$ des Grads abgelesen, daher im Folgenden die Angaben bis 0,01 richtig auf Skale beobachtet sind.

Die Theilung auf dieser Skale war so, dafs wenn durch m die Grade derselben vorgestellt werden

$$m = [R + 8{,}191]\,1{,}930 - 0{,}34.$$

Es bedeuten aber m die durch Correctionen, welche aus der Calibrirung der Röhre hervorgehen, verbesserten Grade der Skale.

Ueber die Ausführung der Versuche habe ich Folgendes noch zu bemerken. Das kalte Wasser wurde zu jedem Versuch in das Gefäfs eingewogen, und seine Temperatur mit dem Thermometer M beobachtet; diese war nur wenig verschieden von der Temperatur der Stube, und deshalb wurde zugleich die der beobachteten Temperatur zugehörige Zeit mittelst einer Secundenuhr beobachtet. Einige solche Beobachtungen genügten, um die Temperatur dieses Wassers für den Augenblick zu finden, wo die Mischung mit dem warmen Wasser vorgenommen wurde. Diese Mischung geschah dadurch, dafs durch Umdrehen des Zapfens K in dem cylindrischen Gefäfse A, welches sich schon während der vorhergehenden Beobachtung senkrecht über dem kalten Wasser befand, dieses Gefäfs A, nachdem das darin befindliche Wasser seine constante Temperatur angenommen hatte, geöffnet wurde; nachdem eine geeignete Menge Wasser herausgeflossen, wurde es wieder geschlossen und zur Seite geschoben.

Es wurde beobachtet die Zeit des Oeffnens des Gefäfses A, die Zeit für das Schliefsen desselben, die Zeit für das Maximum, zu welchem das Thermometer stieg; ferner wurde beobachtet dieses Maximum des Thermometers, dann wurden nach dem Maximum einige Temperaturen dieser Mischung mit den dazu gehörigen Zeiten und der Lufttemperatur beobachtet, um daraus den während des Mischens erlittenen Wärmeverlust durch die Umgebung abzuleiten. — Hienach werden die folgenden Tafeln, welche die Beobachtungen enthalten, leicht verständlich seyn.

Ehe ich jedoch übergehe, um aus aus diesen Beobachtungen die gesuchte Gröfse abzuleiten, ist noch ein nicht unerheblicher Umstand zu erwähnen, es ist *die Höhe*, aus welcher das heifse Wasser in das kalte fällt, die einen Wärmeverlust in dem heifsen Wasser verursacht. Wenn der horizontale Durchschnitt des Gefäfses, worin sich das kalte Wasser befindet, grofs ist, so wird sein Niveau nach der Mischung sich nur wenig erhöhen, und dann kann die Oeffnung *G* des Gefäfses *A* der Oberfläche näher gebracht werden, und so der Wärmeverlust, den das heifse Wasser während des Füllens erleidet, verkleinert werden. Es schien mir aber wünschenswerth wenigstens eine ungefähre Vorstellung von der Gröfse dieses Verlustes zu erhalten, und deshalb stellte ich drei Beobachtungsreihen an mit verschiedener Entfernung der Oeffnung *G* von der Oberfläche des kalten Wassers; man wird annahmsweise annehmen können, dafs der gedachte Verlust proportional sey der Höhe, durch welche das Wasser fällt.

Erste Beobachtungsreihe.

α) Während der Versuche 1 und 2.

Barom. 27″ 8‴,77, dessen Temperatur —1,0, daraus berechnete Temperatur des Wassers in *A* 169,12.

β) Während der Versuche 3 bis 7.

Barom. 28″ 5‴,77, dessen Temp. +0,2, berechnete Temp. 170,35, Quantität des kalten Wassers 2857gr.,3, hiezu die Masse des Gefäfses und Messingbleches 3013,2.

Höhe der Oeffnung *G* von der Oberfläche des kalten Wassers vor der Mischung 17‴,5, nach der Mischung 6‴,5; im Mittel also 12 Linien.

	Quantität d. heifs. Wassers.	Temperatur des kalten Wassers.	Höchste Temperatur d. Mischung.	Temperatur der Luft.	Dauer des Einfliefsens.	Dauer des Maximums.	Abkühlung. Temp.	Zeit.
	A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	
1	773,3	42,24	68,01	=45,60	6	—	—	—
2	372,6	42,38	54,40	46,74	6	—	—	—
3	669,0	42,44	65,56	46,74	5	54	64,68	0
							64,18	339
4	693,0	50,02	72,39	49,63	5	30	71,19	0
							70,69	241
5	751,0	45,95	70,71	49,05	4	36	—	—
6	738,7	50,53	74,11	49,83	5	35	43,19	0
							72,69	217
7	697,7	47,04	70,10	49,63	6	44	—	—

Bemerkungen. Die Temperaturen des kalten Wassers und der Mischung sind in Graden des Thermometers *M* ausgedrückt; bei beiden sind die Grade nach der Fehlertafel schon corrigirt. Die Temperaturen des kalten Wassers sind zwar keine unmittelbaren Beobachtungen, sondern auf die schon bemerkte Weise aus solchen abgeleitet, haben aber gleichen Werth mit directen Beobachtungen. Die Dauer des Maximums der Temperatur der Mischung ist vom Augenblick des Oeffnens der Oeffnung *G* an gerechnet, die Zahlen bedeuten Chronometerschläge d. h. 0,4 Secunden.

Die Lufttemperaturen wurden mit einem neuen R. Thermometer beobachtet und sind in Grade des Thermometers *M* verwandelt.

Die Berechnung dieser Versuche geschah nach folgender Formel:

$$S_h A \,.\, (x - C - w - v) = S_k Q (C - B + w).$$

Wo S_k, S_h die specifischen Wärmen des kalten und heifsen Wassers bedeuten, A, B, C die in den Columnen A, B, C stehenden Gröfsen, x die Temperatur des heifsen Wassers, v der Wärmeverlust, den es während des

des Einfliefsens erleidet, und w der Wärmeverlust, den die Mischung in der Zeit, in welcher das Maximum ihrer Temperatur eintritt, erleidet; endlich Q die Quantität des kalten Wassers mit dem Gefäfs.

In dieser Gleichung sind v und w noch unbekannt, erstere Gröfse vernachlässigen wir, und eine zweite Beobachtungsreihe mit gröfseren v wird den Einflufs, der von dieser Vernachlässigung herrührt, kennen lehren; letztere, w, kann mittelst der Beobachtungen in der Spalte G abgeleitet werden. Dieser Verlust ist, wenn U den Ueberschufs des Maximums über die Temperatur der Umgebung vorstellt, und T die Dauer des Maximums

$$U[b^{+\alpha T}-1],$$

wo b die Basis des Briggischen Logarithmen-Systems und $\alpha=\frac{e y u - l q w}{t}$, wenn u und w die Ueberschüsse zweier Temperaturen in G über die der Umgebung und t die Zeit bedeutet, die verfliefst zwischen dem ersten und zweiten Temperaturüberschufs. Aus den drei Beobachtungen in G ergiebt ein Mittel $\alpha=0{,}000040$, und der mittlere Werth für T aus der Spalte F ist 38. Auf diese Weise wird $w=0{,}0035\ U$.

So entstehen aus $\frac{S_h}{S_k}\frac{A}{Q}(x-C-w)=(C-B+w)$

folgende sieben Gleichungen:

$\frac{S_h}{S_k}$	25,93 =	25,85	−0,07
	13,93 =	14,05	+0,12
	23,25 =	23,18	−0,06
	22,51 =	22,45	−0,05
	24,82 =	24,83	+0,02
	23,57 =	23,66	+0,10
	23,20 =	23,13	−0,06
	157,21 =	157,15	

$$\frac{S_h}{S_k}=1,-0{,}00038.$$

Zweite Beobachtungsreihe.

1) Versuche 1, 2 und 3. Barometer 15,92, bei +2°,4; daraus abgeleitete Temperatur 140,07.

1) Versuche 4, 5, 6, 7. Barometer 15,01, bei +2°,8; daraus abgeleitete Temperatur 169,95.

Quantität des kalten Wassers mit Gefäfs 3014,0.

Höhe der Oeffnung *G* über der Oberfläche des kalten Wassers vor dem Versuch 29''',5, nach dem Versuch 18,5, also Mittel 24 Linien.

	A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	
1	698,4	48,05	70,85	53,88	7	53	70,17 69,67	316
2	734,6	53,57	45,94	52,34	10	45	74,68 74,18	186
3	760,4	48,46	42,60	49,82	14	61	76,68 76,18	205
4	833,5	36,82	65,19	45,39	14	61	64,68 64,18	323
5	729,5	46,59	70,13	48,67	16	59		
6	523,1	51,10	68,45	49,82	10	45	67,69 67,19	306
7	566,4	50,83	69,38	50,98	10	45		

Der mittlere Werth für $\alpha = 0,000041$, der mittlere Werth für $T = 52$; daher $w = 0,0049\ U$.

$\frac{S_k}{S_h}$	22,97 =	22,88	+0,22
	22,92 =	22,48	−0,13
	24,56 =	24,25	+0,02
	28,94 =	28,48	−0,07
	24,13 =	23,65	−0,15
	17,60 =	17,44	+0,07
	18,88 =	18,64	+0,01
	160,00	157,82.	

$$\frac{S_k}{S_h} = 1 - 0,0136.$$

Dritte Beobachtungsreihe.

Barometer 15,87, bei $+2^{\circ},8$; daraus berechnete Temperatur 170,08.

Quantität des kalten Wassers mit Gefäfs 3012,6.

Höhe der Oeffnung G über der Oberfläche des kalten Wassers vor dem Versuch $23''',5$, nach dem Versuch $12''',5$, also im Mittel 18 Linien.

508,0	36,90	56,13	47,32	8	22		
636,7	40,48	62,96	49,25	6	24		
						71,19	0
709,8	48,82	71,93	51,37	5	40	70,69	285
						70,19	575
706,3	41,72	65,93	51,41	5	40		
						76,67	
820,2	52,90	77,65	53,11	8	37	71,17	225
						75,67	466

Die mittlere für $\alpha = 0,000040$, das Mittel von $T = 32$, daher $w = 0,0026$. Demnach:

$$\frac{S_h}{S_k} \quad \begin{array}{rcl|r} 19,21 & = & 19,25 & +0,18 \\ 22,63 & = & 22,51 & +0,04 \\ 23,43 & = & 23,16 & -0,10 \\ 24,41 & = & 24,25 & +0,02 \\ 25,14 & = & 24,81 & -0,15 \\ \hline 114,82 & & 113,98 & \end{array}$$

$$\frac{S_h}{S_k} = 1 . -0,00731.$$

Aus diesen Beobachtungsreihen geht mit Gewifsheit hervor, dafs die specifische Wärme des Wassers in der Nähe der Siedhitze nicht kleiner ist, als bei einer niedrigen gewöhnlichen Temperatur. Um diese drei Beobachtungsreihen, deren verschiedenes Resultat für $\frac{S_h}{S_k}$ herrührt von den Verschiedenheiten der Räume, durch welche das heifse Wasser fallen mufste, mit einander zu

combiniren, müfste man das Verhältnifs kennen, in welchem der Wärmeverlust bei einem fallenden Wasserstrahl zu der Höhe, durch welche er fällt, steht. Diefs ist von der theoretischen Seite ein sehr zusammengesetztes Phänomen. Da in den vorliegenden Versuchen aber diese Fallhöhen nur klein sind, so wird man sich nicht sehr irren, wenn man den Wärmeverlust dieser Höhen proportional setzt. Die mittleren Fallhöhen sind 12; 18 und 24 Linien, und bedeutet w den Wärmeverlust, der einer Fallhöhe von 6 Linien entspricht, und wird in der obigen Gleichung, wonach die Beobachtung berechnet ist, für $x-C$ der mittlere Werth aus sämmtlichen Beobachtungen genommen (der $=101{,}5$) und $\frac{w}{x-C}=W$ gesetzt, so geben die drei Beobachtungsreihen folgende drei Gleichungen, wenn die unbekannte specifische Wärme $=1+x$ gesetzt wird, wo x eine kleine Gröfse, so dafs das Produkt xW vernachlässigt wird.

	Berechnet.	Fehler.
$x-2\,W=-0{,}00038$	0,00049	$-0{,}00099$
$x-3\,W=-0{,}00731$	0,00710	$+0{,}00021$
$x-4\,W=-0{,}0136$	0,01371	$-0{,}00011$

Hieraus auf die vortheilhafteste Weise x und W bestimmt:

$$x=+0{,}0127$$
$$W=\quad 0{,}00661.$$

Als Endresultat wird so also erhalten 1,0127, als das Verhältnifs der specifischen Wärme des Wassers bei 80° R. zur specifischen Wärme des Wassers bei einer Temperatur, die das Mittel ist aus sämmtlichen Temperaturen, die in der Spalte B und C aufgezeichnet sind; das Mittel beträgt 57,3, die nahe 22° R. bedeuten. Setzt man voraus, dafs die Incremente der specifischen Wärme proportional mit der Temperatur sind, so kann man aus dem gefundenen Verhältnifs ableiten das Verhältnifs der

specifischen Wärme des Wassers bei 80° R., zu Wasser bei 0° R. Das Resultat dieser Ableitung ist 1,0176. Vergleicht man diefs Resultat mit den Gröfsen, um welche die specifische Wärme bei 80° R. Temperatur Zunahme sich vergröfsern bei den von Dulong untersuchten festen Körpern, so sieht man, dafs diese Gröfse beim Wasser viel kleiner ist; sie ist etwa $\frac{1}{2}$ des kleinsten von Dulong gefundenen Werthes, und beträgt etwa $\frac{1}{3}$ des gröfsten dieser Werthe. Unter den von Dulong untersuchten Körpern befindet sich nur ein chemisch zusammengesetzter, nämlich Glas, dessen Zuwachs an specifischer Wärme bei 80° R. Temperatur $\frac{1}{25}$ etwa beträgt, während diese Zunahme bei Wasser $\frac{1}{57}$ nur beträgt.

Uebrigens kann es nicht entgehen zu bemerken, dafs wenn durch vorstehende Untersuchung es entschieden ist, dafs die specifische Wärme des Wassers mit der Temperatur nicht abnimmt, sondern zunimmt, es noch weiterer Beobachtungen bedarf, um die Gröfse der Zunahme mit hinlänglicher Sicherheit festzustellen.

III. *Einige Bemerkungen über die physischen Ursachen der Gestalt der Isothermen; von H. W. Dove.*

Halley, welcher zuerst auf die Möglichkeit des Zusammentreffens eines Cometen mit der Erde aufmerksam machte, suchte die auffallende Kälte Nordamerika's durch die Annahme zu erklären, dafs ein solches Zusammentreffen wirklich in früheren Zeiten stattgefunden habe. Dort, meinte er, habe sonst der Erdpol gelegen, und die niedere Temperatur jener Gegenden sey eine Nachwirkung jener früheren Verhältnisse. Da es aber zwei nördliche Kältepole giebt, deren keiner mit dem Drehungspole zusammenfällt, so müfste eine solche Veränderung der Erdaxe zweimal eingetreten seyn, welches eben nicht für jene Hypothese spricht, indem schon die Wahrscheinlichkeit eines einmaligen Zusammentreffens nach den Untersuchungen von Olbers sehr gering ist. Wir sind daher auf terestrische Ursachen zurückgewiesen.

Seitdem es durch unbestreitbare Thatsachen erwiesen zu seyn scheint, dafs von der Oberfläche der Erde an die Temperatur nach der Tiefe zunimmt, kann die Temperatur der Oberfläche als durch terestrische und solare Wärme bedingt angesehen werden. Denkt man sich nun das als flüssig angenommene Innere der Erde von einer festen Schale von ungleicher Dicke umgeben, so wird der von der terestrischen Wärme abhängige Theil der Temperatur der Oberfläche nur in dem Falle eine Function der geographischen Breite allein seyn, wenn die Dicke der Schale mit der Entfernung vom Aequator entweder regelmäfsig zu- oder abnimmt. Da nun der von der solaren Wärme abhängige Theil nur eine Function der Breite ist, so würden unter jener Voraussetzung bei

einer gleichgestalteten Oberfläche die Isothermen mit den Parallelkreisen zusammenfallen. Es ist leicht einzusehen, wie bei einer unsymmetrischen Vertheilung der Dicke der Erdrinde Erscheinungen entstehen würden, ähnlich denen, welche wir jetzt in Beziehung auf die isothermische Vertheilung beobachten. So lange aber nicht durch Beobachtungen erwiesen ist, dafs die Temperaturzunahme nach der Tiefe an den convexen und concaven Scheiteln der Isothermen verschieden ist, fehlt einer solchen Erklärung, wie sie Cordier gegeben, alle empirische Bewährung.

Es scheint daher zunächst am passendsten, auf der Oberfläche der Erde selbst die Ursache jener auffallenden Abweichung der Isothermen von den Parallelkreisen zu suchen. Die unter dem Aequator aufsteigenden und nach den Polen abfliefsenden Luftströme sind als Grund jener Verschiedenheit angegeben worden. Da wo durch ein breites Continent die Temperatur der Linie unverhältnifsmäfsig erhöht wird, wird nach dieser Ansicht auch die Temperatur der darüber liegenden gemäfsigten Zone gesteigert, und daher contrastirt die Wärme Europa's so entschieden gegen die Kälte Amerika's, in dessen tropischen Gegenden gerade das feste Land zurückgedrängt ist. In Asien hingegen überschreiten die Aequatorialströme nicht das Hochland, deswegen jene merkwürdige Kälte.

Im 11. Bande dieser Annalen habe ich die Zulässigkeit dieser Hypothese dadurch geprüft, dafs ich für Paris den Einflufs der mittleren Windesrichtung auf die Temperatur quantitativ zu bestimmen suchte. Ich werde jetzt ähnliche Berechnungen für London mittheilen.

Hat man aus einer langen Reihe von Beobachtungen nach Elimination der täglichen und jährlichen Veränderungen die mittlere Temperatur der einzelnen Winde bestimmt, von denen n verschiedene Richtungen an der Windrose unterschieden seyn mögen, und bezeichnet man die mittleren Temperaturen derselben mit $t'\ t''\ t'''\ \ldots\ t^n$,
ihre respective Anzahl mit $m' m'' m''' \ldots m^n$,

so wird die mittlere Temperatur des Ortes T:

$$T = \frac{m' t' + m'' t'' + m''' t''' + \ldots . m^n t^n}{m' + m'' + m''' + \ldots . m^n}$$

Wären alle Winde gleich oft vorgekommen, hätte also keine Windesrichtung vorgeherrscht, so würde:

$$m' = m'' = m''' = \ldots . m^n.$$

Bezeichnen wir die Temperatur, welche unter dieser Voraussetzung stattgefunden haben würde, mit T^o, so wird:

$$T^o = \frac{m'(t' + t'' + t''' + \ldots . t^n)}{n m'} = \frac{t' + t'' + t''' + \ldots . t^n}{n}$$

Ist $T = T^o$, so hat die mittlere Windesrichtung keinen Einflufs auf die mittlere Temperatur, ist T gröfser als T^o, einen erwärmenden, ist es kleiner, einen erkältenden. Die Gröfse desselben mit W bezeichnet giebt also:

$$W = T - T^o.$$

Zur Elimination der täglichen Veränderung scheint es am passendsten, die Temperatur eines Windes aus den täglichen Extremen abzuleiten, wenn nämlich in den Beobachtungen der während eines Tages herrschende Wind angegeben ist. Denn da die Himmelsansicht bei verschiedenen Winden verschieden ist, so wird Bedeckung in eben dem Maafse das Maximum des Tages erniedrigen, als sie das Minimum der Nacht erhöht, ein heller Himmel hingegen für beide Extreme das Gegentheil bewirken.

Die der Berechnung unterworfenen Beobachtungen sind die von Howard in seinem *Climate of London* bekannt gemachten, 14 Jahre, 1806 bis 1818, an einem Register-Thermometer, nach Fahrenheit getheilt. Die thermischen Windmittel in Fahrenheit'schen Graden sind in der ersten Tafel enthalten, in der zweiten die Gröfse der täglichen Veränderung, welche die Nothwendigkeit der Correction für die tägliche Variation bei jeder einzelnen Windesrichtung zeigt, in der dritten endlich die Anzahl der einzelnen Winde.

Mittlere Temperatur.

	SW.	W.	NW.	N.	NO.	O.	SO.	S.	Veränd.	Windst.
Januar	39°,351	37°,628	33°,024	31°,239	29°,710	31°,678	36°,143	41°,480	32°,135	31°,25
Februar	43 ,14	41 ,297	38 ,39	28 ,970	33 ,238	35 ,309	38 ,325	43 ,444	36 ,28	43 ,5
März	45 ,202	44 ,066	41 ,437	34 ,844	37 ,331	39 ,092	41 ,667	43 ,906	44 ,758	41 ,333
April	46 ,918	48 ,541	45 ,468	40 ,598	45 ,201	50 ,409	48 ,044	51 ,75	46 ,547	51
Mai	55 ,648	54 ,947	52 ,55	53 ,625	52 ,641	56 ,175	56 ,25	57 ,523	57 ,034	55 ,409
Juni	58 ,919	59 ,961	58 ,639	57 ,24	58 ,153	61 ,272	62 ,341	61 ,222	60 ,23	60 ,055
Juli	63 ,417	62 ,302	61 ,041	59 ,904	61 ,42	63 ,571	67 ,447	65 ,25	62 ,029	—
August	62 ,214	61 ,5	59 ,797	59 ,117	59 ,871	63 ,860	64 ,285	59 ,221	64 ,066	61 ,916
September	56 ,388	56 ,048	53 ,318	54 ,282	56 ,566	58 ,015	58 ,575	59 ,595	56 ,673	56 ,055
October	52 ,88	49 ,942	46 ,552	44 ,583	47 ,207	49 ,759	50 ,171	51 ,7	50 ,607	50 ,187
November	45 ,086	42 ,011	37 ,127	38 ,551	42 ,02	40 ,722	44 ,37	46 ,022	38 ,763	42 ,611
December	40 ,818	39 ,011	35 ,259	32 ,983	33 ,932	35 ,482	37 ,354	42 ,8	34 ,007	36 ,730

Tägliche Veränderung.

	SW.	W.	NW.	N.	NO.	O.	SO.	S.	Veränd.	Windst.	Mittl. Veränd.
Januar	10°,429	10°,282	11°,817	10°,228	6°,895	8°,257	7°,428	10°,039	10°,865	11 ,7	9,924
Februar	11 ,76	11 ,576	12 ,38	11 ,765	11 ,904	11 ,571	11 ,435	12 ,297	13 ,04	11 ,616	11,99
März	14 ,609	13 ,765	15 ,167	13 ,062	12 ,304	13 ,921	15 ,333	16 ,562	17 ,311	8 ,666	14,188
April	17 ,11	18 ,323	17 ,234	17 ,582	17 ,955	21 ,364	20 ,853	17 ,358	17 ,285	16	18,192
Mai	18 ,161	21 ,053	20 ,3	18 ,916	21 ,015	21 ,2	19 ,688	19 ,333	20 ,386	18 ,818	19,941
Juni	19 ,19	21 ,307	20 ,927	18 ,24	21 ,98	24	27 ,864	20 ,222	21 ,487	19	21,21
Juli	19 ,371	18 ,854	19 ,636	19 ,654	19 ,40	21 ,715	21 ,632	20 ,6	19 ,177	—	19,641
August	18 ,082	18 ,774	17 ,718	20 ,353	20	20 ,833	19 ,429	20 ,111	19 ,733	20 ,167	18,552
September	16 ,06	18 ,049	18 ,364	17 ,695	17 ,094	23 ,031	18 ,45	17 ,762	19 ,346	19	18,142
October	14 ,574	14 ,116	18 ,737	15 ,278	14 ,943	14 ,26	16 ,057	15 ,267	14 ,642	14 ,125	15,259
November	11 ,39	15 ,75	13 ,392	11 ,793	9 ,6	10 ,111	10 ,444	11 ,773	13 ,316	13 ,889	11,804
December	11 ,152	10 ,152	11	8 ,862	9 ,703	6 ,036	10 ,042	10 ,2	9 ,861	11 ,769	10,128

Anzahl.

	SW.	W.	NW.	N.	NO.	O.	SO.	S.	Veränd.	Windst.
Jan.	73	39	60	32	38	28	28	26	37	10
Febr.	100	37	50	17	21	21	23	27	25	13
März	69	39	48	16	89	38	21	16	29	3
April	55	24	47	36	67	33	34	14	42	2
Mai	74	19	40	12	67	40	32	21	44	11
Juni	74	39	68	25	49	22	22	9	39	9
Juli	97	48	85	26	25	14	19	20	34	—
Aug.	98	53	96	17	31	18	14	18	15	6
Sept.	67	41	44	23	53	32	40	21	26	9
Oct.	87	43	38	18	53	27	35	30	28	8
Nov.	87	44	51	29	50	18	27	22	19	9
Dec.	99	46	58	29	37	28	24	10	26	13

Bei der Bestimmung der mittleren Temperatur T sind die bei »veränderlich« und »windstill« angestellten Beobachtungen mit aufgenommen, da sie allen Winden gleichmäfsig zugerechnet werden können. Diese ist in der folgenden Tafel in der ersten Columne enthalten. Die zweite, mit T^b überschrieben, giebt die mittlere Temperatur unter der Voraussetzung, dafs keine Windesrichtung vorgeherrscht habe. Die dritte, den Unterschied der beiden ersten, oder den Einflufs W. der mittleren Windesrichtung auf die mittlere Temperatur, und zwar positiv, wenn dieser erwärmend war, negativ im entgegengesetzten Falle. Die vierte Columne enthält die mittlere Windesrichtung selbst nach der Lambert'schen Formel berechnet, den Wind von S. als Nullpunkt nach W. gezählt, die folgende Columne dieselbe annähernd in dem entsprechenden Windzeichen. Setzt man

$a = W - O \qquad \alpha = S - N$

$b = NW + SW - NO - SO \qquad \beta = SW + SO - NW - NO$

so wird die Componente der mittleren Windesrichtung mit C bezeichnet:

$$C = \sqrt{[(a + b \cos 45^0)^2 + (\alpha + \beta \cos 45^0)^2]}$$

die Anzahl der Tage angeben, welche bei sonst herr-

schender Windstille der mittlere Wind geweht haben würde; da aber nicht alle Monate gleich lang sind, zur Vergleichung aber die gefundenen Werthe auf eine gemeinschaftliche Einheit reducirt werden müssen, so habe ich den unter *C* in der ersten Columne angeführten Ziffern, welche die Dauer innerhalb jedes Monats angeben, noch beigefügt, wie viel unter 10 Tagen jeder mittlerer Wind wehen würde. Diese sind in der zweiten Columne unter *C* enthalten.

	T.	*T°.*	W.	Richtung d. Wind.		*C.*	
Jan.	34°,93	35°,032	—0°,102	94°	W.	4,9	1,58
Febr.	39 ,582	37 ,764	+1 ,818	63	WSW.	8,5	3,06
März	41 ,281	40 ,943	+0 ,338	160	NNW.	2,8	0,91
April	46 ,469	47 ,116	—0 ,647	192	NNO.	3,6	1,14
Mai	55 ,033	54 ,919	+0 ,114	309	OSO.	1,1	2,71
Juni	59 ,344	59 ,718	—0 ,374	115	WNW.	6,2	2,07
Juli	62 ,524	63 ,044	—0 ,52	91	W.	10,9	3,54
Aug.	61 ,109	61 ,258	—0 ,149	94	W.	11,7	3,84
Sept.	56 ,327	56 ,598	—0 ,271	77	WSW.	1,9	0,62
Oct.	49 ,838	49 ,099	+0 ,739	51	SW.	4,5	1,47
Nov.	41 ,986	41 ,989	—0 ,003	88	W.	5,8	1,91
Dec.	37 ,223	37 ,205	+0 ,018	89	W.	7,2	2,32

Wir sehen also, dafs der Einflufs der mittleren Windesrichtung auf die mittlere Temperatur in den einzelnen Monaten sehr verschieden ist, im Winter und Frühling häufiger erwärmend, im Sommer und Herbst erkältend. Es kann natürlich nicht ermittelt werden, in wiefern die hier gefundenen Resultate für das Klima von London normal sind.

Um die Gröfse des Einflusses in Beziehung auf die Jahreszeiten und das Jahr näher zu untersuchen, habe ich die mittlere Temperatur der Winde innerhalb derselben, wie früher, aus den monatlichen Mitteln bestimmt, um so viel wie möglich die jährliche Veränderung zu eliminiren. Für die Jahreszeiten würde es noch passender seyn, aus den zwölf monatlichen Mitteln jedes Windes

die Temperatur desselben als Function der Sonnenlänge darzustellen, und die so gefundenen wahrscheinlichsten Werthe der monatlichen Mittel statt der direct beobachteten der Berechnung der thermischen Windrosen zum Grunde zu legen. Es bleibt aber hierbei unsicher, bei welcher Annäherung der berechneten an die beobachteten Werthe man stehen bleiben soll, und es scheint daher passender, eine solche Untersuchung erst dann anzustellen, wenn man durch eine zweite längere Beobachtungsreihe eine neue Vergleichung mit den berechneten Werthen erhält. Dafs die Temperatur der östlichen Winde innerhalb der jährlichen Periode gröfsere Veränderungen zeigt, als die der westlichen, habe ich schon früher gezeigt, und diefs wird durch die oben angegebene Tafel auffallend bestätigt, ergiebt sich natürlich auch, wenn man nach den gegebenen Zahlen Formeln berechnet, aus dem Verhältnifs der Coëfficienten der veränderlichen Glieder derselben. Unter mittlerer Temperatur ist also die Summe der monatlichen Mittel durch die Anzahl derselben dividirt verstanden.

Man erhält dann die in der ersten der folgenden Tafeln enthaltenen Zahlen, welche, wenn x den von N als Nullpunkt nach O. gezählten Winkel, welchen der Wind mit dem Meridian macht, bezeichnet, durch folgende Formeln annähernd dargestellt werden, die Coëfficienten in Fahrenheit'schen Graden ausgedrückt:

Jahr $T = 48^\circ,7219 + 3^\circ,258 \sin(x + 262^\circ\ 57') + 0^\circ,4741 \sin(2x + 269^\circ\ 14')$

Winter $T = 36^\circ,6669 + 5^\circ,3775 \sin(x + 241^\circ\ 47') + 0^\circ,1474 \sin(2x + 16^\circ\ 52')$

Frühling $T = 47^\circ,6601 + 3^\circ,1773 \sin(x + 260^\circ\ 41') + 0^\circ,9389 \sin(2x + 257^\circ\ 16')$

Sommer $T = 61^\circ,332 + 2^\circ,1755 \sin(x + 296^\circ\ 30') + 1^\circ,1837 \sin(2x + 227^\circ\ 43')$

Herbst $T = 49^\circ,2289 + 3^\circ,1485 \sin(x + 278^\circ\ 52') + 0^\circ,8463 \sin(2x - 8^\circ\ 31')$

Eine Vergleichung der Beobachtung und Rechnung giebt dann:

Beobachtet.

	Jahr.	Winter.	Frühling.	Sommer.	Herbst.
S.	51,993	42,575	51,059	61,898	52,439
SW.	50,832	41,103	49,256	61,517	51,451
W.	49,771	39,312	49,185	61,254	49,334
NW.	46,884	35,558	46,485	59,826	45,666
N.	48,661	31,064	43,022	58,754	45,805
NO.	46,441	32,293	45,058	59,815	48,598
O.	48,779	34,156	48,559	62,901	49,499
SO.	50,414	37,274	48,657	64,691	51,039

Berechnet.

	Jahr.	Winter.	Frühling.	Sommer.	Herbst.
S.	51,481	41,448	49,880	62,404	52,215
SW.	51,285	41,957	50,034	61,224	51,923
W.	49,596	39,167	49,090	61,236	48,869
NW.	46,725	34,973	46,014	60,065	45,449
N.	45,015	31,971	43,609	58,510	45,993
NO.	46,147	31,660	44,872	59,847	48,209
O.	48,796	34,082	48,062	63,177	49,589
SO.	50,732	38,079	49,721	64,192	50,935

Unterschied.

	Jahr.	Winter.	Frühling.	Sommer.	Herbst.
S.	+0,512	+1,127	+1,179	—0,506	+0,224
SW.	—0,453	—0,854	—0,778	+0,293	—0,472
W.	+0,175	+0,145	+0,095	+0,018	+0,465
NW.	+0,159	+0,585	+0,471	—0,139	+0,217
N.	—0,354	—0,907	—0,587	+0,244	—0,188
NO.	+0,294	+0,633	+0,186	—0,032	+0,389
O.	—0,017	+0,074	+0,497	—0,277	—0,090
SO.	—0,318	—0,805	—1,064	+0,500	+0,104

Anzahl.

	Jahr.	Winter.	Frühling.	Sommer.	Herbst.
S.	234	63	51	47	73
SW.	980	272	198	269	241
W.	472	122	82	140	128
NW.	685	168	135	249	133
N.	280	78	64	68	70
NO.	580	96	223	105	156
O.	319	77	111	54	77
SO.	319	75	87	55	102

Für den Einflufs der mittleren Windesrichtung auf die mittlere Temperatur aber folgende Bestimmungen:

	Jahr.	Winter.	Frühling.	Sommer.	Herbst.
T	48,804	37,245	47,594	60,992	49,384
$T°$	48,722	36,667	47,660	61,332	49,229
W.	+ 0,082	+ 0,578	— 0,066	— 0,34	+ 0,155
Richtung	92°	79°	169°	97°	73°
dito	W.	WSW.	NNW.	WNW.	WSW.
Comp.	57,9	20,2	5,5	28,5	11,4
red. Comp.	1,79	2,55	0,69	3,46	1,42

Da 0°,08 F. eine zu unbedeutende Gröfse ist, so ist also das Ergebnifs der Untersuchung:

1) *Die mittlere Windesrichtung in London, welche als vollkommener Westwind anzusehen ist, hat auf die mittlere Temperatur von London keinen Einflufs.*

2) Die Veränderung der mittleren Windesrichtung innerhalb der jährlichen Periode äufsert einen merklichen Einflufs auf den Gang der Temperatur. Durch die mehr nördliche Richtung im Sommer wird die Temperatur erniedrigt, durch die mehr südliche im Winter erhöht. Im Frühling und Herbst sind die Wirkungen unerheblich, doch schliefst sich der Frühling an den Sommer, der Herbst an den Winter an. Die entgegengesetzten Winde halten nämlich

in diesen beiden Jahreszeiten wie im Jahre einander in dem Grade das Gleichgewicht, dafs die mittlere Componente gering ist.

Diese Resultate mit denen verglichen, welche ich für das Klima von Paris im 11. Bande dieser Annalen, S. 583, gegeben habe, giebt in Centes. Graden:

	Paris.	London.	Paris.	London.
Jahr	+0,217	+0,045	WSW.	W.
Winter	+0,886	+0,321	SW.	WSW.
Frühling	+0,622	−0,036	WSW.	NNW.
Sommer	−0,777	−0,189	W.	WNW.
Herbst	+0,500	+0,086	SSW.	WSW.

Die Uebereinstimmung der Wirkung der mittleren Windesrichtung ist sehr auffallend; die südlichere mittlere Richtung des Jahres bewirkt eine weit bedeutendere Temperaturerhöhung in Paris als der indifferente West in London, eben so sind die Wirkungen im Winter und Herbst gesteigert.

Im Frühling, wo die mittlere Windesrichtung in Paris auf der südlichen Seite bleibt, ist die Temperatur erhöht, in London hingegen, wo sie auf die nördliche Seite fällt, erniedrigt. Warum in Paris der W. im Sommer eine stärkere Abkühlung bewirkt als der NNW. im Winter, wird aus dem Unterschiede der beiden thermischen Windrosen klar.

Ist nämlich

$$T = u + u' \sin(x + U') + u'' \sin(2x + U'')$$

allgemein die Formel für die thermische Windrose, so erhält man in Cent.:

Pa-

	Paris.	London.	Paris.	London.
	u'		U'	
Jahr	1,267	1,81	252° 59′	262° 57′
Winter	2,776	2,987	214 38	241 47
Frühling	1,249	1,765	263 37	260 41
Sommer	1,534	1,208	359 39	296 30
Herbst	1,892	1,749	253 53	278 52
	u''		U''	
Jahr	0,194	0,263	168° 25′	269° 14′
Winter	0,227	0,093	263 37	16 52
Frühling	0,317	0,522	308 7	257 16
Sommer	0,287	0,658	94 23	227 43
Herbst	0,341	0,470	153	351 29

Die nahe Uebereinstimmung der Constante U' in allen Jahreszeiten, den Sommer ausgenommen, zeigt, dafs die Temperaturvertheilung innerhalb der Windrosen beider Orte ziemlich gleich ist. Im Sommer aber fällt der Punkt der höchsten Kälte, welcher in Paris auf W. fällt, in London noch über N. hinaus, etwas auf die östliche Hälfte der Windrose, wie man durch Differentiiren der oberen Gleichung erhält, und daher hat die mittlere Windesrichtung in Paris, welche W. ist, den Einflufs auf die Erniedrigung der Temperatur, welchen in London eine nördliche haben würde; da wir sie dort aber NNW. fanden, so mufs die Wirkung in London gröfser seyn als in Paris.

Es ist klar, dafs man auf alle diese Verhältnisse Rücksicht nehmen mufs, wenn man bestimmte Resultate erhalten will, und es scheint mir daher die kurze Bemerkung des Hrn. Prof. Schouw, durch welche er meine früheren Untersuchungen über das Klima von Paris zu beseitigen suchte, ohne sich auf das Detail derselben einzulassen, sehr verfehlt.

Band 90 S. 544 heifst es: Die Temperaturverhältnisse der Ost- und Westküsten der Continente lassen sich nicht füglich erklären, wenn man an den westlichen

Seiten südliche, an den östlichen nördliche Strömungen annimmt. Wehten nämlich im östlichen Asien und im östlichen Nordamerika vorzüglich nordöstliche Winde, so würden nicht nur die Winter, sondern auch die Sommer kalt seyn. Bekanntlich aber unterscheiden die Ostseiten sich von den Westseiten nicht nur durch die niedere mittlere Wärme, sondern auch durch den grofsen Unterschied der Jahreszeiten und den warmen Sommer. Diefs erklärt sich dagegen leicht, wenn man nur eine allgemeine westliche Strömung annimmt, denn auf den Ostküsten der Continente kommen diese Winde vom Festlande, und bringen folglich Continentalklima (kalte Winter und warme Sommer) auf den Westküsten kommen aber die westlichen Winde vom Meere, und bringen daher Meeres- oder Küstenklima.

Der Schlufs, welchen ich gemacht habe, war folgender: Sind kältere Winde herrschend, so wird die Temperatur erniedrigt, wehen wärmere, so wird sie erhöht. Die Beobachtungen von Paris geben:

	Winter.	Sommer.
NO.	—0°,48	+18°,19
SW.	+6 ,31	+17 ,55.

Da also die NO. Winde im Winter kälter sind als die SW. Winde, so würden sie, wenn sie vorherrschten, die Temperatur erniedrigen, hingegen im Sommer, weil sie wärmer sind als die SW. Winde, sie erhöhen. Es ist aufserdem hier von mittleren Windesrichtungen, nicht von einzelnen Winden die Rede, und da es bekannt ist, dafs die Linien gleicher Winterkälte fast senkrecht auf den Linien gleicher Sommerwärme stehen, oder in Beziehung auf die thermische Windrose ausgesprochen, dafs der Kältepol der Windrose im Sommer auf der westlichen Seite derselben ungefähr um 90° von dem Punkte absteht, wo er im Winter auf der Ostseite liegt *), so

*) Den Grund dieser Erscheinung habe ich Bd. XI S. 576 näher entwickelt.

ist klar, dafs dieselbe Windesrichtung in den verschiedenen Jahreszeiten einen entgegengesetzten Einflufs nicht nur haben kann, sondern haben mufs. Dafs in London die niedrigste Wärme im Sommer anomal etwas auf die NO. Seite fällt, ist durch die Lage erklärlich, weil NO. Winde das Meer überschritten haben und dadurch abgekühlt sind. Dafs die Scheitel der Isothermen nicht auf die östlichen Küsten selbst fallen, ist bekannt, daher müssen wir hier die Verhältnisse des Continentalklima's beibehalten, was ich Bd. XIII S. 586 deutlich ausgesprochen habe: »nach der Krümmung der Isothermen zu schliefsen und dem in einer früheren Abhandlung bewiesenen Einflufs der mittleren Windesrichtung auf die mittlere Temperatur, ist es mir nicht unwahrscheinlich, dafs über die beiden Continente der alten und neuen Welt auf der nördlichen Halbkugel zwei nördliche Ströme gehen, über die zwischenliegenden Meere zwei südliche, *die sich bis in eine gewisse Breite über die Continente ausbreiten.*« Was aber die Erklärung des Hrn. Schouw betrifft, welche er im Gegensatz zu der meinigen sehr leicht nennt, so ist es allerdings leicht etwas dadurch zu erklären, dafs man das zu Erklärende als bekannt voraussetzt. Denn wenn man annimmt, dafs der W. Wind an den convexen Scheiteln der Isothermen einen erwärmenden Einflufs in Beziehung auf die Temperatur des Jahres hat, so versteht es sich von selbst, dafs dieser Einflufs in das Innere der Continente hinein allmälig abnehmen wird. Die Frage, welche aber bei dem Problem der Isothermen beantwortet werden mufs, ist eben: warum hat er dort diesen Einflufs?

Ein begründeterer Einwurf gegen die obige Untersuchung konnte aber dadurch gemacht werden, dafs man sagte: wenn die verschiedene mittlere Richtung der Winde einen von ihrem thermischen Werth abhängigen Einflufs auf die mittlere Temperatur der einzelnen Abschnitte des Jahres äufsert, so mufs die Art der Aufeinanderfolge der einzelnen Winde überhaupt ebenfalls hierbei von Bedeu-

tung seyn. Dieser Einwurf wird beseitigt, wenn sich aus den Beobachtungen ergiebt:

dafs die Art der Aufeinanderfolge der Winde in allen Jahreszeiten dieselbe, also unabhängig von den gleichzeitigen Veränderungen der mittleren Richtung derselben ist.

In Band XI, XIII und XV habe ich für das jährliche Mittel bewiesen, dafs die Aenderungen immer in dem Sinne SWN. im westlichen Europa geschehen. Dieses Gesetz der Drehung fand ich in den einzelnen Monaten ebenfalls durch Beobachtungen und Rechnungen bestätigt, und ich glaubte mich daher zu der Aeufserung berechtigt, Bd. XI S. 555: »auch finden sich in den monatlichen Mitteln, die hier anzuführen zu weitläufig seyn würde, selten Ausnahmen.«

Dagegen hat Hr. Professor Schouw in Bd. XIV S. 548 eine Zusammenstellung einjähriger Beobachtungen von Dr. Neuber in Apenrade bekannt gemacht, welche nicht nur die Unrichtigkeit des Gesetzes im Allgemeinen zeigen sollen, sondern in's Besondere die Unzulänglichkeit desselben für einzelne Zeitabschnitte des Jahres. Da die Beobachtungen selbst weit später erschienen sind, so ist es mir erst jetzt möglich, näher zu untersuchen, in wiefern die auf oben sich stützenden Einwürfe gegründet sind, oder nicht.

Was das Allgemeine betrifft, so meint Hr. Schouw, dafs die Winddrehung nach der Seite häufiger ist, von welcher der Wind am häufigsten weht. Diefs pafst zwar nicht auf das Verhältnifs von W. zu SW. und NW., d. h. auf die Winde, welche am häufigsten vorkommen, es wird diefs aber dort dadurch erklärt, dafs der NW. Wind eine gröfsere Stärke habe, als der SW, jener also diesen leichter verdränge als umgekehrt. »Dove, heifst es, schreibt den südlichen Winden eine gröfsere Intensität zu; dieses ist in Dänemark bestimmt nicht der Fall, und wohl schwerlich in Europa und über dem atlanti-

schen Meere.« In den *Collect. Meteor I.*, welche die Apenrader Beobachtungen enthalten, finden sich dagegen p. 227 folgende Worte in der Zusammenstellung derselben von Hrn. Schouw: »hieraus geht hervor, dafs in Beziehung auf die Intensität die Winde sich folgendermafsen ordnen:

	W.	SW.	S.	NW.	N.	SO.	NO.	O.
Windig	0,44	0,39	0,41	0,36	0,34	0,28	0,27	0,15
Stürmisch	0,16	0,15	0,13	0,07	0,04	0,02	0,02	0,05
Gelind	0,35	0,43	0,41	0,43	0,48	0,61	0,61	0,67
Ruhig	0,05	0,03	0,05	0,14	0,14	0,09	0,10	0,13

Meine Behauptung, welche für Dänemark bestimmt unrichtig seyn soll, wird also durch Hrn. Schouw selbst bestätigt, die gegebene Erklärung desselben durch die Beobachtungen selbst widerlegt, auf welche sie angepafst ist. Ich habe daher nichts hinzuzufügen nöthig.

Was nun die Veränderungen in den einzelnen Monaten betrifft, so glaube ich durch folgende Tafel zu zeigen, dafs das Gesetz der Drehung in den einzelnen Monaten dasselbe ist, wie im jährlichen Mittel. Sie enthält die Veränderung des Barometers innerhalb zwölf Stunden für die acht Hauptwinde, corrigirt für die tägliche Variation, deren Gröfse in der letzten Columne angegeben ist, und zwar bedeutet + Steigen, — Fallen, in Millimeter aus zehnjährigen Beobachtungen zu Paris.

	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.	N.	Correction.
Januar	+0,259	—1,336	—1,081	—1,141	—0,641	+1,400	+2,842	+0,684	0,409
Februar	+0,365	+0,627	—1,273	—0,057	—1,104	+1,040	+1,506	—0,129	0,596
März	—0,129	—0,842	—1,956	—1,750	—1,004	+1,058	+2,869	+0,961	0,377
April	—0,317	—1,156	—1,301	—0,274	+0,659	+0,863	+1,671	+0,291	0,492
Mai	+0,267	—2,640	—1,299	—0,979	+0,449	+0,486	+0,321	—0,478	0,343
Juni	—0,480	—1,276	—1,509	—1,999	+0,046	+0,718	+0,080	—0,020	0,346
Juli	—0,944	—2,144	—1,081	—1,117	+0,036	+0,762	+1,477	+0,144	0,390
August	—0,221	—0,721	—0,775	—1,333	+0,550	+1,065	+0,518	+0,566	0,525
September	—0,454	—1,515	—1,707	—0,361	—0,251	+1,732	+0,324	+0,053	0,366
October	—0,046	—1,273	—0,381	—0,419	+0,188	+0,438	+0,928	+1,639	0,249
November	+1,238	—0,269	—1,034	—1,440	—0,310	+0,796	+1,656	+2,085	0,202
December	—0,250	—0,182	—0,982	—2,333	+0,120	+1,808	+2,013	+1,208	0,233
Jahr	—0,233	—1,270	—1,170	—1,135	—0,208	+0,999	+1,157	+0,294	0,286

Da also mit SO. und S. in allen Monaten das Barometer fällt, mit W. und NW. steigt, überhaupt auf der Ostseite der Windrose fällt, auf der Westseite steigt, nördliche Winde aber stärker drücken als südliche, so sind Ostwinde ein Uebergang der nördlichen Winde in die südlichen, Westwinde ein Uebergang der südlichen in die nördlichen. Das Gesetz der Drehung, S., W., N., ist also zu allen Zeiten des Jahres dasselbe.

Woher kommt es nun, dafs Hr. Schouw aus den Apenrader Beobachtungen ganz entgegengesetzte Resultate erhalten zu haben glaubt? Was zunächst die Anzahl derselben betrifft, so kann ich zwar nicht sagen, dafs ich zu zehn bestimmten Stunden des Tages regelmäfsig beobachtet habe, aber ich kann versichern, dafs ich mehrere Jahre hindurch, so oft ich es nur thun konnte, Windrichtung und Barometer verglichen habe, wie man es so leicht an einem mit Mikroskopen versehenen Barometer thun kann. Ich weifs sehr wohl, dafs es entgegengesetzte Drehungen giebt, die oft mehrere Tage dauern, sie scheinen besonders die Nebelbildung zu begünstigen, wenn der Wind von S. durch O. geht, ich habe die Bedingungen dieser Ausnahmen früher näher entwickelt. Ginge der Wind immer ununterbrochen im Kreise herum, so würde es nicht nöthig seyn, durch langwierige Rechnungen Beweise dafür zu suchen. Das Durchgehende aber durch alle jene Unregelmäfsigkeiten ist nach meiner Erfahrung, und zwar zu allen Jahreszeiten, jenes Gesetz. Dafs es im Sommer häufiger verdeckt wird, wo jede Wolke ihren Wind erzeugt, versteht sich von selbst, und eben deswegen ist es sehr mifslich, jedem einzelnen Zugwinde, der ohne barometrische Wirkung ist, gleichen Werth zuzuschreiben, besonders wenn der Ort, wie Apenrade, unmittelbar an der See liegt. Da nun dort die Verhältnisse der Anzahl folgende sind:

N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
6	6	12	12	12	13	21	17

so sieht man leicht, dafs der als O. eintretende tägliche Seewind (da in nördlichern Breiten er noch merklich ist, so mag er wohl auch hier im Sommer stattfinden) häufiger auf südliche als auf nördliche Winde wirken, und daher eine unregelmäfsige Schwankung erzeugen wird.

Auf welche Art aber die Beobachtungen gegen mich benutzt sind, will ich an dem Beispiel selbst zeigen, welches Hr. Schouw besonders hervorhebt, S. 548.

»Nehmen wir Juli als Beispiel. In diesem Monat geschah die Drehung des Windes 44 Mal, also häufig in der dem Laufe der Sonne entgegengesetzten Richtung (55 mit der Sonne); folglich müfste, nach Dove's Ansich, entweder Apenrade in diesem Monat in dem NO. Strome gewesen seyn, ja sogar in der östlichen Hälfte desselben, oder gleichzeitig müfste im atlantischen Meere ein NO. Strom stattgefunden haben, denn Dove sagt: »sollte der Fall vorkommen, dafs der Nordstrom sich so weit nach Westen zur Seite ausbreitet, dafs der Beobachtungsort jenseits der Mitte des Nordstroms liegt, so werden die Drehungen des Windes in dem dem gewöhnlichen grade entgegengesetzten Sinne stattfinden. Umgekehrt wird man aus dem *continuirlichen Durchgange des Windes durch die Windrose* im Sinne S., O., N., W., S. schliefsen können, dafs westlich vom Beobachtungsort ein Nordstrom existirt.« In diesem Monat sind aber die Windverhältnisse in Apenrade in Beziehung auf Anzahl:

N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
3	2	3	4	4	10	51	23

also ist kein Nordstrom, derselbe kann eben so wenig 55 Mal östlich vom Beobachtungsorte, und 44 Mal westlich innerhalb eines Monats gelegen haben, also ist jene Erklärung unrichtig (S. 547).«

Dieses Raisonnement ist von der Art, dafs ich mich wundern mufs, dafs es in ein Handbuch der Meteorologie neuerdings aufgenommen worden ist. Die Ansicht der

Beobachtungen zeigt ein fortdauerndes Schwanken der Windfahne zwischen SW., W. und NW., denn unter 100 Beobachtungen gehören diesen 84, dem N., NO., O. nur 8. Es ist also von keinem einzigen *continuirlichen* Durchgange durch die Windrose die Rede, vielmehr die Erscheinung, welche ich Bd. XIV S. 317 beschrieben habe: »dauernder Regen ist nicht ein Niederschlag, sondern die häufige Wiederholung derselben Erscheinung, die sich in Beziehung auf die Windfahne darstellt als eine continuirliche Abwechselung von W. und SW. in Beziehung auf das Barometer als ein fortwährendes Schwanken. Beispiele dafür findet man in jedem Beobachtungsjournal.« 18 Regentage kommen vor, diefs Beispiel der »zurückspringenden Wirbel« kann also als eine Bestätigung meiner Ansicht angeführt werden. Ich glaube daher, dafs ich den Vorwurf, den Einflufs der Luftströmungen, welche die verschiedene Temperatur des Meeres und Continents veranlafst, auf die Winddrehungen in Europa übersehen zu haben, auf sich beruhen lassen kann, wenn ich zeige, dafs er nicht existirt, ich halte es aber, wenn man Resultate behauptet hat, von denen eigene Untersuchung später zeigt, dafs sie irrig sind, diefs anzuführen für billig. Da aber in einer unter der Autorität einer Academie erschienenen Sammlung wichtiger Beobachtungen auf jene Bemerkungen gegen mich verwiesen wird, ohne irgend daran zu erinnern, in wiefern die Beobachtungen selbst sie widerlegen, so habe ich die Discussion derselben selbst übernehmen müssen, besonders deswegen, weil das, was nicht vertheidigt wird, als aufgegeben gilt. Was die Hypothese betrifft, durch welche ich die Gesammtheit der meteorologischen Erscheinungen abzuleiten suchte, so kann diese irrig seyn, local hat sie sich bisher mir bestätigt, in wiefern aber das, was als Kampf zweier Ströme an jedem Ort sich darstellt, sich an bestimmten als Gegensatz im Mittel fixirt, kann nur durch Beobachtungen, die ich nicht besitze, entschieden werden. Bei

den durch neue Beobachtungen erregten Interesse für das Problem der Temperaturvertheilung auf der Oberfläche der Erde hielt ich die Bekanntmachung dieser Untersuchungen nicht für ganz unnöthig, deren Resultat mir zu seyn scheint:

dafs die Gestalt der Isothermen nicht allein durch Luftströmungen bedingt wird.

IV. *Betrachtungen über die Temperatur und den hygrometrischen Zustand der Luft in einigen Theilen von Asien;*

von Alexander von Humboldt.

(Eine im Mai dieses Jahres vor der Pariser Academie gehaltene Vorlesung, entnommen aus des Hrn. Verfassers so eben erschienenen *Fragmens de Géologie et de Climatologie asiatiques, T. II.*)

Da die Gestalt der Länder, die Unebenheiten des Bodens, die relative Lage der opaken (continentalen) und der durchsichtigen und flüssigen (pelagischen) Massen, die Richtung der grofsen Bergsysteme und das durch das Wärme-Absorptions und -Emissionsvermögen der Erdkruste bedingte Vorwalten gewisser Winde bei dem gegenwärtigen Zustande unserer Kenntnisse als die Hauptursachen der Verschiedenheiten der Klimate angesehen werden, so können nur allgemeine geographische Ansichten uns bei der Untersuchung über die Temperatur von Asien leiten. Die schnelle Zunahme der Strenge der Winter, so wie man im westlichen Europa auf einem Parallelkreise nach Osten fortrückt, ist vor langer Zeit *) durch ein fortschreitendes Ansteigen des Bodens zu ungeheuren Hochflächen erklärt worden; man hat hier einer einzigen Kälteursache, die man fälschlich als in einer unermefslichen Ausdehnung

*) Man sehe die Meinungen von Gmelin, Strahlenberg und Mairan in den *Mém. de l'Acad.* 1765, *p.* 255.

vorhanden annahm, das zugeschrieben, was gleichzeitig von mehreren Ursachen herrührt, besonders von der gleichförmigen Ausbreitung des alten Continents, von zunehmender Entfernung von den westlichen Küsten, d. h. von einem im Westen liegenden Becken, als dem Behälter einer wenig veränderlichen Wärme, endlich von den Westwinden, welche nordwärts des Wendekreises vorherrschen, und für das östliche Europa und für ganz Asien Landwinde sind. Genaue barometrische Messungen haben die Ideen, welche man sich über die Erhebung des Bodens in diesem Theile der Welt gebildet hatte, gänzlich umgestaltet. Der Rücken zwischen dem schwarzen Meer und dem finnländischen Meerbusen erreicht bei *Waldai* kaum die Höhe von 170 Toisen über dem Meeresspiegel. Die Quellen der *Wolga,* etwas westlich von dem *Ozero Seliger* *) haben, nach einem von Hrn. Helmersen **) unternommenen Stations-Nivellement, nicht 140 Toisen Meereshöhe. Vor Zeiten hat man, und der Abbé Chappe sogar mit einer Gewifsheit bis auf 2 Toisen ***), die Höhe von *Moskau,* am Spiegel der Moskwa, zu 269 Tois. angegeben; allein die Erhebung dieses Orts, der zwischen der oberen Wolga und dem Becken der Oka liegt, folglich an der Südseite des Abhanges, der sich von dem Waldaischen Rücken gegen das schwarze und kaspische Meer niedersenkt, beträgt nur 76 Toisen. *Kasan*, wo die Wolga fast die Hälfte ihres Weges zu-

*) Nicht aus diesem See, von dem der *Selischarofska Reka* ausfliefst, sondern der kleine See *Pterche* ist es, aus dem die majestätische Wolga entspringt.

**) Handschriftliche Mittheilung dieses jungen Gelehrten, der mich, gemeinschaftlich mit seinem Freund, Hrn. Hoffmann (Geognosten auf der letzten Weltreise des Kapitain Kotzebue) im südlichen Ural, und von *Slatoust* nach Orenburg und zu der Steinsalzgrube (Ilezkaya Sachtschia) in der Kirgisensteppe begleitet hat.

***) Chappe. *Voyage en Siberie, T. II. p.* 485 *et* 502. *Journ. de Phys. T. XXXIX. p.* 40.

rückgelegt, liegt nur 45 Toisen über dem Ocean (nicht über dem kaspischen Meer), wenn man mit Hrn. Arago den mittleren Barometerstand am Meere auf 0° reducirt, zu 760^{mm},85 annimmt *).

Die geringe Höhe, zu welcher sich die continentalen Massen im östlichen Europa erheben, ist sehr beachtenswerth, wenn man diefs Phänomen unter dem Gesichtspunkt des mittleren Reliefs der Continente betrachtet, und dabei absieht von dem partiellen und neueren Phänomen der Bergketten so wie der örtlichen Aufblähungen, welche der Boden von Ebenen zuweilen in der Nachbarschaft von Gebirgen zeigt. *Moscau* und *Kasan*, wo die HH. Perevostschetoff, Simonoff und Lobatschewsky eine so grofse Anzahl vortrefflicher Barometerbeobachtungen mit unter sich und mit den Fortin'schen Barometern der Pariser Sternwarte verglichenen Instrumenten angestellt haben, liegen mitten in einem ungeheuren Gebiete von Tertiär- und zum Theil Secundär-Formationen, mehr als 230 bis 250 Lieues (25 auf einen Grad des Aequators) entfernt vom Kaspischen, Asowschen und Finnländischen Meere. Eine eben so schwache Convexität der Oberfläche findet sich im mittleren Theil von Polen, wo, nach Hrn. Eichwald **), die Meierei Belin, bei Pinsk, nur 68 Toisen, und das Plateau von Osmana nur 147 Toisen erhaben ist, was den Höhen von Moscau und dem Waldaischen Rücken entspricht.

Die baltischen und sarmatischen Ebenen des östlichen Europa's werden von den sibirischen des nordwestlichen Asiens durch die Ural-Kette getrennt, welche zwi-

*) Man sehe meine *Relation hist. T. III. p.* 314 und 356. (Auch diese Ann. Bd. XII. (88) S. 399.)

**) Naturhistorische Skizze von Lithauen, Volhynien und Podolien, 1830, S. 106 und 155. In Volhynien liegt die Wasserscheide auf dem Plateau von *Awratyne*, auf dem der *Bug* entpringt (A. a. O. S. 72.)

schen den Breiten 54° und 67°, vom Iremel und Grofsen Taganai bis zum Kondjacowski Kamen und zum Parallelkreis von Obdorsk, Gipfel von 6 bis 800 Toisen Höhe darbietet, und welche, was ihren Kamm betrifft, den wenig erhabenen Ketten der *Vogesen*, des *Jura*, der *Gates* und der gold- und platinführenden *Cordillera* von *Villarica* in Brasilien vergleichbar ist. Der Ural erregt unsere Aufmerksamkeit durch seine Ausdehnung und die Beständigkeit seiner Richtung, vom Ust-Urt auf dem Isthmus der Truchmenen, zwischen dem Caspischen und Aral-See, bis jenseits des Polarkreises, wo, östlich vom Obi, Hr. Adolph Erman einige Spitzen von mehr als 660 Toisen Höhe gemessen hat. In dem mittleren Theile, unter 56° 49', etwas westlich von *Jekaterinenburg*, bietet dieser Gürtel (*Poyas*) oder diese Felswand, in der Formationen von Grünstein, Serpentin und Talkschiefer vorwalten, Pässe dar, deren Meereshöhe kaum die von Genf und Regensburg übersteigt.

Von den Heiden des nördlichen Brabants kann man 80 Längengrade ostwärts, bis zu den Steppen am Westabhange des Altai und bis zur chinesischen Dzungarei, wandern, ohne eine Höhe von 1200 bis 1300 F. anzutreffen. Ich charakterisire hier die Gestaltung des Bodens von Europa und Asien in einer centralen Zone (im Innern des alten Continents), deren Endpunkte, Breda und Semipalatinsk, wo der chinesische Posten Chonimailächu, zwischen 51° 35' und 48° 57' liegen, und welche fast dreimal so lang wie der Lauf des Amazonenflusses durch die Ebenen des mittleren Amerika's. Denkt man sich einen Weg von den Brabanter Heiden zu den Asiatischen Steppen durch hohe Breiten, wie 60° und 65°, so würde man zusammenhangende Ebenen auf eine Erstreckung, die fast dem halben Umfang der Erde gleich ist, antreffen.

Es ist also nicht die Erhebung des Bodens, welche, beim Fortrücken im mittleren Europa gegen Osten, die Herabbiegung der isothermischen Linien, die Abnahme

der mittleren Jahres-Temperatur, veranlafst. Erstaunt über die geringe Höhe des Landes um Tobolsk, 240 Lieues vom Eismeere entfernt, widersetzte sich der Abt Chappe seit dem Jahr 1768 zuerst mit Nachdruck dem Volksglauben von dieser Erhebung *). Ungeachtet der geringen numerischen Genauigkeit **) seiner in Form von Landschaften herausgegebenen Profile, bleibt dennoch diesem Gelehrten, dessen Beobachtungen ich in Mexico und Sibirien habe wiederholen können, das unbestreitbare Verdienst, eingesehen zu haben, dafs zwischen 57° und 58° Breite und bis 66° Länge die Winterkälte des nördlichen Asiens nicht die Erhebung des Bodens zur Hauptursache habe.

An den Gränzen der chinesischen Dzungarei und am oberen Irtysch, in den Ebenen, die mit denen des Dzaisang-See in Gemeinschaft stehen, unter der Breite 49°, und 16° ½ östlicher als Tobolsk, sind seit wenigen Jahren Barometermessungen mit Genauigkeit angestellt. Das Mittel der Beobachtungen, welche die HH. Ledebour, Bunge, Hansteen ***), Gustav Rose und ich in verschiedenen Jahreszeiten angestellt haben, giebt diesem Landstrich und einem grofsen Theil der Kirgisensteppe kaum eine Höhe von 200 bis 250 Toisen über dem Meere.

Die Lage der verschiedenen Bergsysteme (zusam-

*) *Voyage en Siberie*, *T. I p. x.* u. 100; *T. II p.* 467 u. 599.

**) Chappe hat die Resultate seiner Barometerbeobachtungen von wenigen Tagen durch vage Hypothesen über den Lauf der Flüsse, die, nach ihm, entweder 4 Fufs 7 Zoll oder 1 Fufs 7 Zoll Fall auf 2000 Toisen Länge haben, modificirt. Mittel der wahrscheinlichen Gränzzahlen sind als Resultate der Messungen angegeben. So hat der Dzaisang-See, nach Chappe, eine Meereshöhe von 413 Toisen, weil seine Höhe entweder 626 oder 201 Toisen seyn mufs. (A. a. O. T. I p. 103 und 105; T. II p. 574 und 594.)

***) Ledebour und Bunge, Reise nach dem Altai, Th. I S. 402 bis 410. Hansteen in Schumacher's Astron. Nachr. 1830, No. 183 S. 294.

menhängender Ketten wie isolirter oder sporadischer Gruppen) und das Verhältnifs dieser Systeme zu mehr oder weniger erhobenen Flächen üben einen grofsen Einflufs aus auf die Vertheilung der Temperaturen und auf deren Mengung vermöge atmosphärischer Ströme. Es wäre für die Klimatologie höchst interessant, den Flächenraum der gebirgigen und der ebenen Theile von Asien, wenn auch nur annähernd, zu kennen; allein Berechnungen der Art sind bis jetzt noch wenig erörtert und sehr mangelhaft. Für Südamerika, über welches ich hinreichend genaue Angaben besitze, finde ich das Verhältnifs der gebirgigen Regionen zu der den Ebenen gleich 1 : 4, und in diesem ungeheuren Theil des neuen Continents nimmt die Andes-Kette, die wie aus einer nur schmalen Spalte emporgestiegen ist, ungeachtet ihrer Länge von 1280 See-Lieues, kaum einen so grofsen Flächenraum ein wie die wenig erhabenen Gruppen oder Massen von Parime oder Brasilien *). In Südamerika, wie in Asien und Europa, läuft der höchste Kamm (der Andes, des Himalaya und der Alpen) keineswegs in der Mitte, sondern des Rückens mehr von der Seite entfernt, an welcher sich die grofsen Ebenen ausdehnen **).

Die niederen Regionen im Norden des alten Continents, von der Schelde bis zum Jenisei, Regionen, deren mittlere Höhe nicht 40 bis 50 Toisen übersteigt, stehen südlich von der Breite 51° $\frac{3}{4}$, in der Parallele von Orenburg und Saratow, in Verbindung mit der grofsen Concavität oder Senkung des Bodens im Westen Asiens um den Ural und das Kaspische Meer, einem Phänomene, das man an mehreren Punkten im Innern der Continente wiederholt finden würde, wenn man von dem Boden der Becken aus krystallinischen oder secundären Felsarten die tertiären Bedeckungen oder aufgeschwemmten Abla-

*) Man sehe meine *Relat. hist. T. III p.* 243.

**) Ebendaselbst p. 232, 234.

gerungen abnehmen könnte. Westlich vom Ural neigen die Ebenen des südlichen Rufslands, im alten *Kaptschak*, gegen den Kessel des kaspischen Meeres, und bilden längs dem Jaik, zwischen *Uralsk* und *Gurief*, wie längs der Wolga, zwischen *Sarepta* und *Astrachan*, den nördlichen Abhang desselben. Der Rücken des auf unsern Karten so verworren gezeichneten *Obtschei Syrt* unterbricht diese Verbindung zwischen dem Becken des Kaspischen Meeres und den Ebenen von *Simbirsk* nur auf eine geringe Strecke. Er löst sich südlich vom Berge *Iremel* vom Ural ab, da wo bei *Belorezk* die *Belaja* (Nebenflufs der Kama) die Kette durchbricht. Oestlich vom Ural oder vielmehr seinem östlichsten Gliede, *Ilmen-Gebirge*, *Djambu Karagaï* und *Kara Edir Tau* genannt, neigen die grofsen sibirischen Steppen, der *Tobol* und des *Ischim*, ebenfalls in südlicher Richtung (wie die ungeheure Kirgisensteppe, längs den Flüssen *Turgay* und *Sarasu*, in östlicher Richtung) gegen die *Krater-Länder* des *Aral* und des *Sihuns*. Diese Einsenkung des Bodens, Folge des Berstens und Einsinkens eines Gewölbes *) (wahrscheinlich vor der Hebung der grofsen Bergsysteme und gleichzeitig mit dem Aufschwellen der grofsen Plateaux) verlängert zwischen 45° und 65° Länge die belgischen, sarmatischen und sibirischen Ebenen bis zum Fufse der Hindu-Kho **) und der Berggruppe des oberen Oxus, während sie östlicher schon südlich von der Parallele 55° durch den Altaï und den Tangnu begränzt werden. Die Niederung um das Kaspische Meer, den Aral und von Maveralnahar ist nicht so beträchtlich (ihr Boden liegt nur zwei bis dreihundert Fufs unter dem Meeresspiegel, und fünf bis sechshundert Fufs unter den Ebenen von Kasan und Tobolsk), als dafs sie, vermöge der

*) Siehe die Abhandlung des Verfassers: *Ueber die Bergketten und Vulcane von Inner-Asien*, in dies. Ann. Bd. XVIII (94) S. 329 bis 332.

**) Westlicher Fortsatz des Himalaya, der in der Provinz Mazandaran die Küsten des Kaspischen Meeres erreicht.

der Senkung allein, merklich auf Erniedrigung der mittleren Temperatur einwirken könnten; allein ihre eigenthümliche Begränzung giebt ihr, im Süden des Aralsees und der Wüste Kizil-kum, ein Klima, das dem der benachbarten Gegenden nicht ähnlich ist. Von mannigfaltiger Form und, zwischen den Flüssen Jaxartes und Oxus, in mehrere Bassins getheilt, bietet der Boden dieser trocken gebliebenen Einsenkung des Continents seit den ältesten Völkerwanderungen einen sehr merkwürdigen und individuellen politischen Charakter dar. Hier und am Südabhange des Kessels haben sich unabhängig, ich möchte sagen stereotyp, Jahrhunderte lang (wie ehemals in Deutschland, am Ende des Mittelalters) eine große Anzahl kleiner Gesellschaften erhalten, die gegenwärtig unter den Namen der Staaten von Khiva, Bokhara und Samarkand, von Tschersavers, Kokan und Taschkend bekannt sind.

Oestlich vom Meridian des Belur, zwischen dem Altai und der Himalaya-Kette, giebt es kein *Centralplateau der Tartarei* von der Gröfse Neuhollands. Die von den Geographen und Historikern des vorigen Jahrhunderts aufgestellte Continuität und alte Civilisation dieses Plateaus müssen gleichfalls in Zweifel gezogen werden. In der Sprache der wissenschaftlichen Geologie lassen sich, nach einem gewissen Höhenmaafsstab, verschiedene *Ordnungen von Hochebenen* annehmen *). Die Hochebene von Schwaben hat 150 Toisen, die von Bayern oder der Schweiz, zwischen den Alpen und dem Jura, hat 260 bis 270 Toisen, die von Spanien 350 Toisen, die von Mysore 380 bis 420 Toisen, die von Persien, Mexico, Bogota, Quito und Caxamarca, vom Antisana und vom Titicaca haben respective eine Meereshöhe von 650, 1168, 1370, 1490, 2000 und 2100 Toisen.

In der gemeinen Sprache wird das Wort *Plateau* (*table-land*, Tafelland) nur auf die Anschwellungen des

*) *Relat. hist. T. III p.* 208. Note 7.

Bodens, die merklich veschlechternd auf das Klima einwirken, angewandt, folglich auf Höhen über 3 bis 400 Toisen, und wenn Strahlenberg sagt, dafs die Ebenen Sibiriens jenseits des Urals, den er das Riphgische Gebirge nennt, sich »zu den Ebenen Europa's verhalten wie ein Tisch zu dem Brette, auf das derselbe gestellt ist,« so hat er wahrscheinlich nicht geahnet, dafs die Central-Ebenen der chinesischen Dzungarei kaum die Höhe des Bodensees oder der Stadt München besitzen. Die Ebenen im Norden des Dzaisang-Sees, in denen ich mich vor zwei Jahren befand, hängen, indem sie den Tarbagatai umgeben, mit denen der Provinz Ili, der Seen Alaktugul und Balkasch und der Ufer des Tschui zusammen. In dem auf der Westseite durch das Querjoch Bolor geschlossene Bassin zwischen dem Muz-tagh (dem Himmelsgebirge) und dem Kuenlun (der nördlichen Kette von Tübet), ergiebt sich die geringe Erhebung der Plateaus auf grofse Strecken aus dem Vergleich der Breiten und der Cultur gewisser Pflanzen. Zu Kaschgar, Khoten, Aksu und Kutsche, in der Breite von Sardinien, baut man Baumwolle; in den Ebenen von Khoten, unter einer nicht südlicheren Breite als der von Sicilien, erfreut man sich eines ungemein milden Klima's, und es wird daselbst eine erstaunliche Menge von Seidenwürmern gezogen. Nördlicher, zu Jerkand, Hami, Kharaschar und Kutsche, ist seit dem grausten Alterthum der Wein- und Granaten-Bau berühmt.

Die Abdachung des Bodens in diesem geschlossenen Becken steht, merkwürdig genug, in umgekehrter Richtung zu der des offenen Beckens der Provinz Ili oder des *Thianschan-Pelu*. Selbst östlich von Tangut scheint die Hochebene (oder steinige Wüste) *Kobi* eine Furche und eine beträchtliche Niederung darzubieten; denn, nach Klaproth, berichten alte chinesische Sagen, dafs der Tarim, der sich gegenwärtig in dem See *Lop* verliert, ehemals durch diesen See flofs und sich in den *Gelben*

Flufs ergofs, ein Phänomen, welches die Bildung einer Wasserscheide durch fortwährende Anschwemmungen erweist, und welches sich andern Erscheinungen der *vergleichenden Hydrographie* anreiht, welche ich in der historischen Relation meiner Reise nach den Aequinoxial-Regionen des neuen Continents aus einander gesetzt habe *).

Aus der Gesammtheit dieser Betrachtungen über die Gestaltung des Bodens von Asien ergiebt sich, dafs der innere Theil, zwischen den Breiten 30° und 50°, und zwischen den Meridianen des Belur oder von Caschmir und des Baikal-See oder der grofsen Beugung des Gelben Flusses, ein Gebiet von sehr verschiedenartigem Niveau ist, das grofse Landstrecken darbietet, deren Erhebung, wie die der Plateaux von Bayern, Spanien und Mysore, den Hochebenen niederer Ordnung angehört. Es steht zu vermuthen, dafs solche Aufblähungen des Bodens, wie die der Hochebenen von Quito und vom Titicaca (1500 bis 2000 Toisen), hauptsächlich nur zwischen der Bifurcation der Hindu-Kho-Kette, deren Zweige unter den Namen *Himalaya* und *Kuenlun* bekannt sind, folglich in den Ländern Ladak, Tübet und Katschi, so wie in dem Gebirgsknoten um den *Khukhu-Noor* und in der Wüste Kobi, nordwestlich vom *Inschan*, angetroffen werden.

Wir sehen also, wie Asien, indem es durch Bergketten verschiedener Richtung und verschiedenen Alters in Becken getheilt ist, der Entfaltung des organischen Lebens und der Gründung menschlicher Gesellschaften, von Jägern (Sibiriern), von Hirten (Kirgisen und Kalmücken), von Ackerbauern (Chinesen) oder Mönchen (Tübetanern), eine Mannigfaltigkeit von Ebenen, Terrassen und Hochgründen (*Haut-fonds*) im Luftocean darbietet, welche die Temperaturen und die Klimate auf eine erstaunliche Weise abändert. Eine traurige Einförmigkeit

*) *T. II p.* 75. und 525.

herrscht in den Steppen von den Ufern des Sihun (Jaxartes) und der kleineren Bergkette Alatan bis zum Eismeer; allein jenseits des Jenisei, östlich vom Meridian von Sayansk und des Baikal-Sees, nimmt selbst Sibirien einen gebirgigen Charakter an.

Genaue Kenntnifs der Unebenheiten der Oberfläche eines Continents ist die erste Grundlage der Klimatologie. Ohne diese hypsometrische Kenntnifs wird man der Erhebung des Bodens zuschreiben, was Wirkung anderer Ursachen ist, die in unteren Regionen (auf einer Oberfläche, die gleiche Krümmung mit dem Meeresspiegel hat) auf die Beugung der isothermischen Linien einwirken. Wenn man jenseits der Breite 46° oder 50° vom nordöstlichen Europa zum nördlichen Asien übergeht, so findet man zugleich eine Abnahme der mittleren Jahres-Temperatur und eine ungleichere Vertheilung dieser Temperatur unter die verschiedenen Jahreszeiten, letztere in Folge der continentalen Gestalt von Asien (grofse nur wenig ausgeschweifte Massen) und dessen besonderer Lage gegen den Aequator und das Polareis, so wie des Einflusses der Westwinde. In der eben angedeuteten Beziehung bieten Asien und Europa folgende Gegensätze dar.

Europa mit vielfach gekrümmten Umrissen, unterbrochen von Meerbusen und Meeresarmen, hie und da zusammengeschnürt, gewissermafsen gegliedert, bildet den westlichen Theil des alten Continents. Es ist nur ein halbinselförmiger Fortsatz von Asien, wie es die Bretagne mit ihren milden Wintern und kühlen Sommern von Frankreich ist. Europa empfängt als vorherrschende Winde die Westwinde, welche für die westlichen und in der Mitte liegenden Theile Meerwinde sind, und welche in Berührung standen mit einer Wassermasse, deren Temperatur an der Oberfläche selbst im Januar (und 45° bis 50° Breite) nicht unter 10°,7 und 9° C. sinkt. Europa geniefst den wohlthätigen Einflufs einer zwischen den Me-

ridianen von Lissabon und Kasan liegenden breiten tropischen Landzone (der von Afrika und Arabien), die sich durch die tägliche Irradiation ganz anders an ihrer Oberfläche erwärmt als eine tropische Meereszone, und die, vermöge der aufsteigenden Luftströme, heifse Luftmassen auf die mehr dem Pole zuliegenden Länder ausgiefst. Andere bisher noch nicht hinlänglich gewürdigte Vortheile für Europa, wenn man es in seiner allgemeinen Configuration als westlicher halbinselförmiger Fortsatz von Asien betrachtet, sind: seine geringere und ungleiche Continental-Entwicklung gegen Norden, seine schiefe Form, und seine Richtung von Südwest nach Nordost. Fast im ganzen ersten westlichen Drittel seiner Länge geht der continentale Theil von Europa nicht über die Breite 52° hinaus. Das mittlere Drittel, vergröfsert durch Skandinavien, wird vom Polarkreis durchschnitten. In dem östlichsten Drittel, östlich vom Meridian von St. Petersburg, wo das breiter gewordene Continent alle Charaktere eines asiatischen Klima's annimmt, streift der Polarkreis nur die nördliche Küste; allein diese Küste wird von einer Zone des Eismeers bespült, deren Wintertemperatur gar sehr verschieden ist von der, welche dasselbe Meer westlich vom Nordcap darbietet. Die Richtung des grofsen Meerthales, welches Europa von Amerika trennt, und das Daseyn jenes Stromes von heifsem Wasser (*Gulf-stream*), welcher dasselbe anfangs von SSW. nach NNO., später von W. nach O. durchsetzt und längs der Küste von Norwegen hinläuft, wirken mächtig auf die Gränzen des Polareises, auf die Umrisse dieser Wand gefrornen Wassers, welche zwischen Ost-Grönland, der Bäreninsel und dem Nordende der skandinavischen Halbinsel den flüssigen Wässern einen ungeheuern Golf darbietet. Europa geniefst also den Vortheil, diesem Golfe gegenüber zu liegen, folglich von dem Gürtel des Polareises durch ein offenes Meer getrennt zu seyn. Im Winter schreitet dieser Gürtel bis zur Breite 75° vor, bis Novaja Semlia, der

Mündung der Lena und bis nahe zum Archipel von Neu-Sibirien. Im Sommer zieht er sich im Meridian des Nordcap und westlicher, zwischen Spitz bergen und Ost-Grönland, bis zur Breite 80° und 81° gegen Norden zurück. Noch mehr, die Wintergränze des Polareises, d. h. die Linie, in der das Polareis im Winter dem continentalen Europa am nächsten kommt, hüllt nicht einmal die Bäreninsel ein; in der kältesten Jahreszeit kann man ungehindert vom Nordcap nach dem südlichen Vorgebirge von Spitzbergen schiffen, durch ein Meer, dessen Temperatur durch die Wasserströme aus Südwesten erhöht worden ist. Das Polareis nimmt überall ab, wo es, wie in der Baffins-Bay und zwischen Island und Spitzbergen *), einen freien Ausweg gegen den Polarkreis hat. Kapitain Sabine hat unter den Breiten 65° und 70° die mittlere Temperatur des atlantischen Oceans an der Oberfläche zu 5°,5 gefunden **), während unter denselben Breiten im Continente Europa's die mittlere Jahres-Temperatur schon mehrere Grade unter Null liegt. Es ist überflüssig hier daran zu erinnern, welche calorifischen Modificationen die Nordwinde durch diese relative Configuration des Landes und Polareises erleiden müssen, sobald sie im nördlichen und nordwestlichen Europa anlangen.

Das Continent von Asien hat, jenseits der Breite 70°, eine 13 Mal gröfsere Ausdehnung von O. nach W. als Europa; zwischen den Mündungen des Jenisei und der Lena erreicht es sogar die Breite 75°, d. h. die der Bäreninsel. Ueberall berühren seine Küsten die Wintergränze des Polareises, und die Sommergränze desselben entfernt sich nur an einigen Punkten und auf kurze Zeit von den Küsten. Die Nordwinde, deren Gewalt, westlich vom

*) Man sehe die Abhandlung: Ueber die Hauptursachen der Temperatur-Verschiedenheit auf den Erdkörper, in diesen Annalen Bd. XI (87) S. 1.

**) *Exper. ou pend. p.* 456.

Meridiane des Baikal-Sees, bis zur Br. 52°, und, westlich vom Meridiane des Belur, bis zur Br. 40°, durch keine Bergkette in der Ebene gemäſsigt wird, gehen über eine mit Schnee bedeckte Eisfläche hinweg, welche das Continent gewissermaſsen verlängert, nördlich bis zum Pole, nordöstlich bis zur Region des Maximums der Kälte, welches die englischen Seefahrer glauben unter den Meridian der Behringsstraſse, unter 80° und 81° Breite, versetzen zu müssen *). Das continentale Asien bietet unter der heiſsen Zone nur ein sehr kleines Stück Land der solaren Irradiation dar. Zwischen den Meridianen, die seine östlichen und westlichen Enden begräuzen, nämlich denen des Cap *Tschukotski* und des *Urals* (in dem ungeheuren Raum von 118° Längengraden) durchschneidet der Aequator nur den Ocean; mit Ausnahme eines kleinen Stücks der Inseln Sumatra, Borneo, Celebes und Gilolo, ist in diesen Gegenden kein Land unter dem Aequator vorhanden. Der continentale Theil des gemäſsigten Asiens genieſst daher nicht die Wirkung der aufsteigenden Ströme, welche durch die Lage von Afrika so wohlthätig für Europa werden.

Sonstige Ursachen zur Erkältung Asiens (uns dabei immer auf allgemeine Betrachtungen beschränkend, auf Alles, was im Groſsen das Klima von Asien charakterisirt) sind: seine Configuration im horizontalen Sinn oder die Form seiner Umrisse, die Unebenheiten seiner Oberfläche in verticaler Richtung und vor Allem seine östliche Lage gegen Europa. Asien bietet, nordwärts der Breite 35°, eine Anhäufung von Land in zusammenhängenden Massen dar, ohne Meerbusen und ohne beträchtliche

*) Nordwestlich von der Melville's-Insel. Daſs man hier diesem Maximumpunkte oder *Kältepol* nahe sey, ergiebt sich, wenn man die mittlere Temperatur der Melville's-Insel (75° Br. und 113° Länge), welche Parry zu —18°,5 berechnet, vergleicht mit der mittleren Temperatur der Luft über dem Meere östlich von Grönland (76°¾ Br. und 3° L. W.), die nach Scoresby nur —7°,5 beträgt.

zungenförmige Fortsätze. Grofse, von Ost nach West laufende Berg-Systeme, deren höchste Glieder die der heifsen Zone zunächst liegende Region einzufassen scheinen, widersetzen sich auf grofse Strecken dem Zutritt der südlichen Winde. Sehr erhabene Plateaux, die, mit Ausnahme von Persien, viel weniger zusammenhängend sind, wie man sie gemeiniglich abbildet, finden sich zerstreut vom Gebirgsknoten von Caschmir und Tübet bis zu den Quellen des Orkhon, auf einer unermefslichen Strecke in Richtung von SW. nach NO. Sie durchsetzen oder umsäumen niedere Regionen, häufen und erhalten den Schnee bis zur Mitte des Sommers, und wirken durch herabsteigende Ströme erniedrigend auf die Temperatur der benachbarten Länder. Sie variiren und individualisiren die Klimate im Osten der Quellen des Oxus, des Alatau und des Tarbagatai in Central-Asien, zwischen den Parallelen des Himalaya und des Altai. Endlich ist Asien, in der ganzen Länge von Europa, geschieden von einem im Westen liegenden Meere oder von Westküsten, welche, in der gemäfsigten Zone immer wärmer sind als die Ostküsten eines Continents. Die ungeheure Verbreiterung unseres Continents vom Ende des finnischen Meerbusens aus trägt bei zur erkältenden Wirkung der vorherrschenden Westwinde, welche für die östlich von der niedrigen Uralkette liegenden Theile der alten Welt Landwinde sind.

Die eben bezeichneten Contraste zwischen Europa und Asien enthalten die Gesammtheit der Ursachen, die gleichzeitig auf die Beugung der Linien gleicher Jahreswärme und auf die ungleiche Vertheilung dieser geringeren Wärme unter die verschiedenen Jahreszeiten einwirken; Phänomene, welche besonders ostwärts des Meridians von St. Petersburg merklich werden, da wo das Continent von Europa sich in einer Breite von 20° Breitengrade an das nördliche Asien anschliefst. Das östliche Europa und ganz Asien (letzteres nördlich von der

Breite 35°) haben ein ungemein *continentales Klima*, um mich dieses Ausdrucks als Gegensatz gegen den: *Klima der Inseln* und *der Westküsten*, zu bedienen; sie haben durch ihre Gestalt und Lage in Bezug auf die West- und Südwest-Winde ein *unmäfsiges Klima*, analog dem der Vereinigten Staaten von Nord-Amerika, nämlich sehr heifse Sommer auf ungemein strenge Winter. In keinem Theile der Welt, selbst nicht in Italien und auf den Canarischen Inseln, habe ich so schöne Weintrauben reifen sehen wie zu Astrachan, nahe am Ufer des Kaspischen Meeres; und dennoch sieht man an diesem Ort, und selbst südlicher zu *Kislar* an der Mündung des *Terek* (in der Breite von Avignon und Rimini), das Centesimal-Thermometer im Winter oft bis —20° und —30° fallen. Auch ist man zu Astrachan, wo während des Sommers, der heifser ist wie der in der Provence und der Lombardei, die Vegetationskraft durch künstliche Bewässerung des mit Kochsalz geschwängerten Bodens erhöht wird, gezwungen, die Weinstöcke sehr tief in den Boden einzusetzen. Es ist dieselbe so ungleiche Vertheilung der Jahreswärme unter die einzelnen Jahreszeiten, welche den Weinbau, oder besser gesagt, die Erzeugung eines trinkbaren Weins in den Vereinigten Staaten von Nord-Amerika, nordwärts der Breite 40°, bisher so schwierig gemacht hat. In dem Systeme der Klimate von Europa bedarf man, um trinkbaren Wein im Grofsen zu erzielen, nicht blofs einer mittleren Jahrestemperatur, die sich bis zu 8°,7 oder 9°,0 erhebt, sondern auch eines Winters, der nicht unter +1° liegt, und eines Sommers, der wenigstens 18°,5 C. erreicht. Es ist diese fixe Portion in der Wärmevertheilung, welche den Vegetationscyclus bedingt, sowohl unter den Pflanzen, die so zu sagen in Winterschlaf verfallen und während der Zeit nur in ihrer Axe Leben zeigen, als auch unter denen, welche, wie der Oelbaum, während des Winters ihr Appendicular-System, ihre Blätter behalten. Das Folgende

enthält einige numerische Elemente der *vergleichenden Klimatologie*, geeignet auf die eben aus einander gesetzten Contraste einiges Licht zu werfen:

St. Petersburg (Breite 59° 66', Länge O. 27° 58'). Mittlere Temperatur des Jahres +3°,8 C., des Winters —8°,3, des Sommers +16°,7 C.

Tobolsk (Breite 58° 12', Länge 65° 58'). Berechnet für ein Jahr (1816) von Hrn. A. Erman nach den Beobachtungen des Hrn. Albert, mittlere Temperatur —0°,63. Westlicher, an der Ostküste von Finnland, zu Uleo (Breite 65° 3', Länge 23° 6') mittlere Temperatur +0°,6, und zu Christiania (Breite 59° 55', Länge 8° 28') in der Parallele von Petersburg: mittlere Temperatur des Jahres +6°,0, des Winters —1°,8, des Sommers +17°,0.

Kasan (Breite 55° 48', Länge 46° 44'). Ich besitze für die zwölf Monate des Jahres 1828 die Mittel von 9 Uhr Morgens und Abends, vom Mittag und von 3 Uhr Abends nach den mit großer Sorgfalt angestellten Beobachtungen des Hrn. Simonoff. Ich finde aus den bloßen Beobachtungen um 9 Uhr und aus den Beobachtungen an den gleichlautenden Morgen- und Abendstunden (um beide Methoden zu gebrauchen, die annähernd die mittlere Temperatur des Jahres geben) +1°,3 und +1°,2 C. *); für den Winter: —18°,4 und —17°,8, für den Sommer +17°,4 und +16°,8; der wärmste Mo-

*) Was die mittlere Jahres-Temperatur von *Kasan* betrifft, so ist sie neuerlich zu +3° und selbst zu +3°,3 C. berechnet worden (Poggendorff's Annalen, 1829, St. 2 S. 162). Man hat sich wahrscheinlich mit dem Mittel aus vier Beobachtungen am Tage begnügt, von denen keine das *Minimum* giebt, und von denen zwei (die am Mittage und um 3 Uhr Nachmittags) dem *Maximum der Wärme* zu nahe liegen. In der That finde ich bei gleichzeitiger Anwendung aller vier täglichen Beobachtungen des Jahres 1828 die mittlere Jahres-Temperatur +3°,2, die des Winters =—16°,3, und die des Sommers =+19°,8; allein diese Temperaturen sind wegen der Stunden, zu welchen sie gefunden wurden, nicht die wahren Mittel-Temperaturen.

nat des Jahres (Juni) war +19°,4 oder +18°,5, der kälteste (Januar) —22°,7 oder —21°,8. Man sieht, daſs die Resultate der beiden Methoden weit weniger von einander abweichen als die Mittel aus mehreren Gruppen von Jahren unter sich verschieden seyn würden.

Ein Theil des Frühlings und des Sommers ist in Kasan eben so warm als in Paris, obgleich dieses 7° südlicher liegt als Kasan, und eine bis zu 9°,4 reichende Mittel-Temperatur hat.

	Kasan. (Breite 55° 48'.)	Paris. (Breite 48° 50'.)
März	— 2°,1 C.	+ 6°,5 C.
April	+10 ,3	+ 9 ,8
Mai	+15 ,5	+14 ,5
Juni	+18 ,9	+16 ,9
Juli	+18 ,2	+18 ,6
August	+14 ,2	+18 ,4
September	+ 5 ,6	+15 ,7
October	+ 0 ,6	+11 ,3
November	—10 ,7	+ 6 ,7.

So ist nach glaubwürdigen Resultaten, die ich in einem anderen Werke vervielfältigen werde, die periodische Bewegung der Wärme an zwei Orten, die in westöstlicher Richtung um 700 Lieus von einander entfernt sind, und annähernd auf derselben *isotheri*schen Linie liegen, in den Mittel-Temperaturen ihrer Winter aber um 21°,5 C. abweichen. Das nordische (*continentale*, folglich *unmäſsige*) Klima nöthigt die Einwohner:

A sofferir tormenti caldi e geli *).

Unter der Breite von Paris bieten zwei auf einander folgende Monate keinen Temperaturzuwachs dar, der gröſser als 4° bis 5° C. wäre. Von der Parallele Roms bis zu der Stockholms, zwischen den Isothermen von 16°,5 und von 5° beträgt der Unterschied der Monate

*) Dante, *Purgat. canto III.*

April und Mai überall 5° bis 7°, und von allen Monaten, die unmittelbar einander folgen, sind diese es (im Systeme der Klimate des centralen Europa), welche das Maximum der Wärmezunahme darbieten. Im Nordosten Europa's und im Nordwesten Asiens dagegen steigen die Wärmezunahmen zweier benachbarten Monate bis auf 12°, und sie treten, wie das Maximum der Wärme, früher ein als dieselben Zunahmen in Europa. Diese jähe Schnelligkeit in der Steigerung der Wärme, welche das Erwachen der Natur charakterisirt, ist es, welche jene schöne Frühlingsflor von Tulipaceen, Irideen und Rosaceen in den sibirischen Ebenen erklärt. Die grofsen und raschen Wärmeänderungen treten hier vom März zum April und vom October zum November ein. Beim Gedanken an die Eismassen, die sich in den sumpfigen Tundra, zwischen dem Obi und dem Jenisei, zwischen Beresow und Turuchansk, so lange erhalten, würde man erstaunen über die Sommerwärme von Tobolsk, Tara, Kainsk, Krasnojarsk und Barnaul, wenn man nicht die Wirkung der versengenden Süd- und Südwest-Winde kennte, die aus den trocknen Steppen des centralen Asiens herüberwehen *).

Peking (39° 54' Br., 114° 7' Länge). Mitteltempe-

*) Hr. Adolph Erman findet die mittlere Richtung aller Winde, die im Laufe des Jahres wehen

zu Tobolsk	S. 47° W.
- Kasan	S. 52 W.
- Moscau	S. 35 W.
- St. Petersburg	S. 41 W.

Demselben Beobachter zufolge sind auch während des ganzen Jahres die Westwinde sehr häufig an der Mündung des Obi und am nördlichen Ende der Ural-Kette. Nach dem, was wir selbst im südlichen und mittleren Sibirien, so wie in der Kalmückensteppe erfahren haben, können wir nicht glauben, dafs die Westwinde seltener werden, in dem Maafse als man von Holland aus gegen den Altai vorrückt, wie es der Fall zu seyn scheint mit Amsterdam und St. Petersburg (Schouw, Beiträge zur vergleichenden Klimatologie, Heft 1, S. 53).

ratur des Jahres +12°,7 C., des Winters −3°,2, des Sommers +28°,1. Der Sommer in diesem östlichsten Theile Asiens entspricht dem Sommer von Neapel; allein drei Wintermonate fallen unter Null, wie in dem 16° nördlicher liegenden Kopenhagen, dessen Mitteltemperatur für's Jahr 5° kleiner ist. Der Unterschied mit dem Klima des westlichen Europa's ist so grofs, dafs man an den Küsten von Frankreich, zwischen Nantes und St. Malo, unter den Breiten 47° und 48° ½, die nämliche Jahres-Wärme wie zu Peking findet, während doch diese Küsten 7° bis 8° nördlicher liegen und 8° mäfsigere Winter besitzen.

Auf meiner letzten Reise habe ich an mehreren Orten Sibiriens sorgfältig verglichene Thermometer in den Händen von Personen hinterlassen, die einen vortrefflichen Gebrauch von ihnen zu machen fähig sind, wenn sie dieselben an Stunden beobachten, welche die Mitteltemperatur der Tage und des Jahres kennen lehren können. Ich habe bereits mehrere Reihen interessanter Beobachtungen aus Bogoslowsk, im nördlichen Ural, wo eifrige und unterrichtete Bergbeamte sich gerne mit dieser Art von Untersuchungen beschäftigen. Da Alles, was man in Asien über Kältegrade gröfser als der Gefrierpunkt des Quecksilbers weifs, noch sehr ungewifs ist, so habe ich Hrn. Dr. Albert zu *Tobolsk*, der uns auf die verbindlichste Weise aufnahm, und der zuweilen in Amtsgeschäften die Polarregionen von *Beresow* und *Obdorsk* besucht, ein Weingeistthermometer übersandt, dessen Theilung von Hrn. Gay-Lussac sorgfältig auf das Glas selbst gezogen ist und bis −60°. C reicht. Allein die gröfsten Fortschritte, welche die Meteorologie und besonders die Theorie der Isothermen je erreichen können, werden wir der Kaiserlichen Academie zu St. Petersburg schuldig seyn, wenn sie, nach dem ihr von meinem Freunde Kupffer und mir vorgelegten Plane, fortfährt ein regelmäfsiges System von stündlichen Baro-, Thermo- und Hygrome-

ter-Beobachtungen, von Beobachtungen der Bodentemperatur, der Windesrichtung, der Regen- und Schneemenge auf der ganzen Fläche des russischen Reichs (von Armenien, Semipalatinsk und Irkutzk bis Kola, Kamtschatka und der Insel Kodiak) ausführen zu lassen. Die Gleichzeitigkeit dieser Variationen in dem Luftdruck, der Temperatur, der Feuchtigkeit, der Richtung und dem Vorwalten der Winde auf einer Continentalfläche *), die gröfser ist als der sichtbare Theil des Mondes, wird durch einen vernünftigen Vergleich der numerischen Elemente Gesetze aufdecken, die uns bisher noch unbekannt blieben. Die Errichtung eines *physikalischen Observatoriums* zu St. Petersburg zum Behufe der Berichtigung und Vergleichung der Instrumente, der Wahl von ihrer astronomischen Lage nach wohl bestimmten Orten, der Leitung magnetischer und meteorologischer Beobachtungen, der Berechnung und Bekanntmachung der mittleren Resultate, wird noch von den spätesten Nachkommen den grofsen Verdiensten beigezählt werden, welche sich diese berühmte Academie seit der Mitte des achtzehnten Jahrhunderts um die physikalische Kenntnifs des Erdballs, um die Botanik und die beschreibende Zoologie erworben hat

In Asien, wie in der neuen Welt, bemerkt man, dafs die Isothermen beim Eintritt in die heifse Zone dem Aequator parallel werden. Diefs Resultat wird durch die Mitteltemperaturen der Monate bestätigt, welche ich aus zwölfhundert sehr genauen Beobachtungen gezogen habe, die mir von Hrn. Abt Richenet, ehemaligen Missions-Attaché mitgetheilt worden sind. Es ist interessant die Klimate von *Havana*, *Macao* und *Rio-Janeiro* zu vergleichen, da die beiden ersten Orte an der Gränze der *nörd-*

*) Von 38°½ (der Breite von Smyrna, Livadien, dem südlichsten Calabrien, von Murcia, Lissabon, Washington, vom nördlichen Japan, und dem Süden der beiden Buchareien) bis 75°.

lichen heifsen Zone und nahe an Ostküsten liegen, letztere aber an der Gränze der *südlichen* heifsen Zone. Schon an einem andern Orte *) habe ich die folgende Tafel gegeben, der ich hier die Mitteltemperaturen der drei heifsesten und der drei kältesten Monate des Jahres hinzufüge.

Mitteltemperatur	Macao. (Br. 22° 12′ N.)	Havana. (Br. 23° 9′ N.)	Rio-Janeiro. (Br. 22° 54′ S.)
des Jahres	23°,3	25°,7	23°,5
vom Decemb. bis Febr.	18 ,2	28 ,0	26 ,0
vom Juni bis Aug.	28 ,0	28 ,6	20 ,3
des kältesten Monats	16 ,6	21 ,1	19 ,2
des wärmsten Monats	28 ,4	28 ,8	27 ,3

Der kältende Einflufs der Gestaltung und Lage Asiens wird zu Macao und Canton noch offenbarer, sobald die West- und Nordwest-Winde über ein mit Schnee und Eis bedecktes ungeheures Continent hinwegstreifen. Indefs sind die Contraste der Wärmevertheilung unter die einzelnen Jahreszeiten in den Häfen des südlichen China's viel weniger merklich als zu Peking. Während der neun Jahre von 1806 bis 1814 hat der Abt Richenet, welcher sich eines vortrefflichen Extremen-Thermometers von Sixt bediente, die Temperatur selten bis 3°,3 C., oft aber bis 5° fallen sehen. Zu Canton erreicht das Thermometer zuweilen fast den Gefrierpunkt, und in Folge der Ausstrahlung gegen einen wolkenlosen Himmel findet man daselbst Eis auf den Terrassen der Häuser, an Orten, die von Palmen und Bananen umgeben sind. Eben so fällt zu Benares (geographische Breite 25° 20′, isothermische Breite 25°,2 C.) die Wärme im Winter auf 7°,2, obgleich sie im Sommer oft auf 44° C. steigt.

Südlicher, zwischen dem Wendekreis und dem Aequa-

*) *Relat. hist. T. III p.* 305 und 374.

tor, besonders zwischen den Breiten 0° und 15°, sind die Mitteltemperatur der Continental-Atmosphäre fast in beiden Welten gleich. Die genauesten und neuesten Beobachtungen aus Asien geben:

Bombay	26°,7 C.	Auf Ceylon:	
Manilla	25 ,6	Trinconomale	26°,9 C.
Madras	26 ,9	Pointe de Galle	27 ,2
Pondichery	29 ,6	Colombo	27 ,0
Batavia	27 ,7	Kandy	25 ,8

Die Mitteltemperatur der eigentlichen Aequatorialzone von 0° bis 10° oder 15° Breite ist bisher sonderbar übertrieben worden, sie scheint mir nicht über 27°,7 hinaus zu gehen. Das Klima von Pondichery kann, wie ich es schon anderswo bemerkt habe, eben so wenig zur Charakterisirung der ganzen Aequatorialregion dienen, als die Oasis von Murzuk, wo der unglückliche Ritchie und der Kapitain Lyon (wahrscheinlich wegen in der Luft schwebenden Sandes) das Thermometer auf 43° und 53°,7 C. stehen sahen, das Klima der gemäfsigten Zone im nördlichen Afrika charakterisirt. Die gröfste tropische Ländermasse liegt zwischen den Breiten 18° und 28° N., und aus dieser Zone besitzen wir auch, wegen ihrer vielen und reichen Handelsstädte, die meisten meteorologischen Kenntnisse. Dagegen sind die vier dem Aequator zunächst liegenden Grade noch heut wie vor 70 Jahren eine Terra incognita für die positive Klimatologie. Noch kennen wir nicht die Mitteltemperaturen des Jahres und der Monate von Grand-Para, von Guayaquil und (fast ist's schimpflich zu sagen) von Cayenne!

Wenn man nur die Wärme betrachtet, welche ein gewisser Theil des Jahres erreicht, so findet man in der nördlichen Halbkugel die *heifsesten Klimate* entweder unter dem Wendekreis des Krebses selbst, oder 4 bis 5

Grad

Grad nördlicher, im südlichsten Theile der gemäfsigten Zone. In Persien, zu Abusheer, unter der Breite 28° ½ geht z. B. die Mitteltemperatur des Juli bis 34° C. *); während in der heifsen Zone die wärmsten Monate sind: zu Cumana =29°,2, zu Vera-Cruz =28°,8. Im rothen Meere sieht man das Centesimalthermometer am Mittage oft auf 44°, und in der Nacht auf 34° ½ stehen. Die Wärme-Extreme, welche man im südlichen Theile der gemäfsigten Zone, zwischen Aegypten, Arabien und dem Persischen Meerbusen, beobachtet, sind die gleichzeitige Wirkung der geringen Zeit, die unter dieser Breite zwischen dem zweimaligen Zenith-Durchgange der Sonne verfliefst, des langsamen Ganges dieses Gestirnes bei Annäherung an die Wendekreise, der mit der Breite wachsenden Tageslänge, der Configuration der benachbarten Länder, der Beschaffenheit ihrer Oberfläche, der beständigen Durchsichtigkeit einer fast aller Wasserdämpfe beraubten Continental-Luft, der Richtung der Winde, und der Menge von Staub (Erdtheilchen, die im Sonnenschein erwärmt werden und sich gegenseitig bestrahlen), welchen diese Winde aufheben und in Schwebung erhalten.

Der Charakter eines *unmäfsigen* Klima's (*Climat continental par excellence*) erweist sich auch in Asien durch die *Schneegränze*, d. h. durch die Höhe, in welcher sich diese Gränze, bei ihren Schwankungen, im Sommer erhält. Schon in einer anderen Abhandlung **) habe ich entwickelt, weshalb in der gemäfsigten Zone Asiens, am Kaukasus und am Nordabhange des Himalaya, dieser Gürtel ewigen Schnees sich in einer weit beträchtlicheren Höhe über dem Meeresspiegel erhält als unter denselben

*) Die Mitteltemperatur des ganzen Jahres ist daselbst =32°,7, die des Winters 17°,8 C.

**) Ueber die Gränze des ewigen Schnees in dem Himalaya-Gebirge und den Aequatorial-Regionen. Man sehe *Ann. de chim. T. XIV p.* 22 und 52, und meine erste Abhandlung über die Gebirge Indiens; ebendaselbst *T. III p.* 297.

Breiten (und man kann noch hinzusetzen: unter denselben Isothermen) in Europa und Amerika. Die interessante Reise der HH. Kupffer *) und Lenz zum Gipfel des *Elbruz* hat neuerlich bestätigt, was ich schon aus den Messungen der HH. v. Engelhardt und Parrot über die Seite des Kasbek geschlossen hatte. Am ersten dieser Gipfel des Kaukasus **) geht der Schnee bis zu 1727 Toisen hinab; am zweiten (ohne Zweifel wegen einiger örtlicher Ursachen der Strahlung) bis 1647 Toisen. Die Schneegränze liegt folglich am Kaukasus 250 bis 300 Toisen höher als, unter derselben Breite, an den Pyrenäen. Die sommerliche Strahlung des Bodens der tübetanischen Hochebene, welche an Höhe vielleicht die des Titicaca-Sees übertrifft, die Trockenheit der Luft, welche sich in ganz Inner- und Nord-Asien zeigt, der wenige Schnee, welcher im Winter fällt, wenn die Temperatur auf —12° oder —15° herabsinkt, endlich die Klarheit und Durchsichtigkeit der Luft ***), welche am Nordabhange der Himalaya herrschen, und zugleich die Irradiation der Plateaux und die Transmission der von diesem ausgestrahlten Wärme erhöhen, scheinen mir die Hauptursachen des

*) *Rapport fait à l'Acad. Imp. sur un voyage dans les environs du mont Elbrouz*, *p.* 125.

**) Die Brücke über die Malka, am Fuſse des Elbruz, liegt unter der Breite 43° 45′.

***) Man sehe den Brief eines englischen Reisenden aus Subathu vom 11. Dec. 1823 in dem *Asiatical Journal*, Mai 1825, und daraus übersetzt in dem *Nouv. Annal des Voyages*, *T. XXVIII p.* 19 und 23. Ein eifriger und kenntniſsreicher französischer Geognost, Hr. Jacquemont, welcher, nach dem Beispiele von Moorcroft, Webb und Gerard, in diesem Augenblick die Himalaya-Kette durchstreift, schreibt die Ungleichheit der Höhe der Schneegränze am Nord- und Süd-Abhange dieses Gebirges ebenfalls der Klarheit des Himmels auf dem Plateau von Ladak und der nebligen Beschaffenheit desselben auf Seite von Indostan zu (Brief an Hrn. Élie de Beaumont, aus Lari vom 9 Sept. 1830).

grofsen Unterschiedes, welchen die Höhe der Schneegränze am Nord- und Süd-Abhange des indischen Gebirgsrücken darbietet. Nach den barometrischen Messungen der HH. Ledebour und Bunge zeigt der Altai nicht dieselbe Erscheinung wie der Kaukasus. Der ewige Schnee scheint hier, in Bezug auf die Breite der Lage, tiefer herabzusteigen wie an den Karpathen; allein die Karpathen, die Alpen und die Pyrenäen liefern keine recht scharfe Vergleichungspunkte, und beweisen, dafs selbst in Europa, von 42° ½ bis 49° ¼ Breite, die östlicheren Lagen die Einwirkungen der Polardistanzen abändern. Am Altai, in den Bergen von Ridderski, hatte sich der Schnee in Schluchten erhalten, während sich auf dem Plateau von Korgon Schichten von mehreren Jahren über einander liegend fanden.

Schneegränze.

Karpathen (Br. 49° ½) 1330 Toisen.	Altai (Br. 48° 30′ — 51°) in den Bergen von Ridderski 920 T. (?); auf Korgon 1100 T.
Pyrenäen (Br. 42° ½ — 43°) 1400 T. Alpen (Br. 45° ¾ — 46°) 1370 T.	Kaukasus (Br. 42° ½ — 43°). Elbruz 1730 T. Kasbek 1650 T.
Andes von Quito (Br. 1° bis 1° ½) 2460 T. Nevados von Mexico (Br. 19° — 19° ¼) 2350 T.	Himalaya (Br. 30° ¾ — 31°) Südabhang 1950 Toisen, Nordabhang 2600 T.

Die grofse Höhe der Schneegränze im südlichen Asien zwischen den Ketten des Himalaya und Kuenlun, zwischen den Breiten 31° und 36°, und gegen Nordosten vielleicht unter noch höheren Breiten, ist eine Wohlthat

der Natur. Indem sie der Entwicklung organischer Formen, dem Hirtenleben und dem Ackerbau (Weizen- und Gerstenfelder finden sich auf den Hochebenen von *Daba* und *Doompo* (31° 15′ Br.) in 2334 Toisen, bei *Lassur* in 2170 Toisen Höhe) ein ausgedehnteres Feld darbietet, macht diese Erhebung der Schneegränze und diese Irradiation der tübetanischen Plateaux eine Alpenzone in Asien bewohnbar für Völker von einer düsteren und mystischen Physiognomie, von einer ganz eigenthümlichen industriellen und religiösen Civilisation, welche (Zone) in den Aequinoxialregionen Amerika's (unter der geringeren Breite von 25° bis 30°) ganz von Schnee verschüttet oder einem alle Cultur ertödtenden Reife blofs gestellt seyn würde.

Analogen, obgleich noch nicht hinlänglich ergründeten Ursachen hat man es zuzuschreiben, dafs in *Ober-Peru* und *Bolivia* eine ackerbautreibende Bevölkerung in Höhen sich findet, weit beträchtlicher als die, welche in der nördlichen Halbkugel, bei gleichem Abstand vom Aequator, nicht die geringste Spur von Ackerbau darbieten. Hr. Pentland*) hat an dem Andes-Pafs durch die Altos von Toledo (Br. 16° 2′ S.) die untere Schneegränze in der Höhe von 2660 Toisen angetroffen, also fast in derselben Höhe, welche sie unter 30° ¾ bis 31° nördlicher Breite am nördlichen oder tübetanischen Abhange des Himalaya einnimmt. Und dennoch steigt im Neuen Continente unter 19° nördl. Br., am Abhange der Vulcane oder Trachytkegel Mexico's, die aus Hochebenen von 1200 bis 1400 Toisen Höhe emporsteigen, die Schneegränze selbst in der heifsesten Jahreszeit nicht höher als bis 2350 Toisen. Es ist recht merkwürdig (und vor zwanzig Jahren würden es die Physiker kaum geahnet haben), dafs die beiden Beispiele von anomaler Höhe oder, um jeden dogmatischen Ausdruck zu vermeiden, die Beispiele des Maximums der Erhebung der Schnee-

*) *Annuaire du bureau des longitudes pour* 1830, *p.* 331.

gränze im Laufe des Jahres sich (als Wirkung der Trokkenheit der Luft, der Sonnenwärme und der Strahlung der Plateaux) in Südamerika unter 16° bis 18° S. Breite, und in Asien in dem Theile der gemäfsigten Zone, der sich bis auf 7° bis 8° dem Wendekreis des Krebses nähert, finden würden. Schon vorhin, als ich von dem versengenden Klima des arabischen und persischen Meerbusens sprach (S. 97), habe ich bemerkt, dafs es gerade die dem Wendekreis zu liegende Gränze der gemäfsigten Zone ist, welche (aus Ursachen, die die Theorie des *solaren Klima's* erklärt), in einem gewissen Theil des Jahres, d. h. in der periodisch-jährlichen Bewegung der Temperatur, das Maximum der Wärme darbietet, welches die Gewalt und die Dauer der Irradiation hervorbringen können.

Ich könnte mich hier noch über das Vorherrschen gewisser Luftströme verbreiten, so wie über die Ordnung oder vielmehr die Richtung, in der die Winde sich drehen (durch O. und S.), um Westwinde zu werden, über unsere Untersuchungen, zur Erkennung der Permanenz unterirdischen Eises, endlich über die Wärmevertheilung im Boden von Nord-Asien, wie sie aus der Temperatur der Quellen hervorgeht — Phänomene, über welche Hr. G. Rose während unserer Reise eine grofse Anzahl genauer Beobachtungen gesammelt hat, und welche auf eine recht verwickelte Art zugleich von der Breite und Länge des Orts, von der Tiefe, von der Jahreszeit, von der Cohärenz der Fels- oder aufgeschwemmten Schichten abgeändert werden; — allein diese Entwicklung behalte ich mir für ein anderes Werk vor, und ich beschliefse diese Abhandlung, in der ich nur einige zerstreute Materialien der allgemeinen Klimatologie mittheilen wollte, mit Beobachtungen über die Trockenheit der Atmosphäre Asiens.

Die grofse Einfachheit und die Genauigkeit des *psychrometrischen Apparats* *) von Hrn. August haben

*) Unter den einer grofsen Genauigkeit fähigen Instrumenten ist

mich veranlafst, denselben zugleich mit dem alten Hygrometer von De Luc auf meiner letzten Reise anzuwenden. Vom Anfange Junis bis Ende Octobers 1829 (während die Temperatur der Luft zwischen 8°,7 und 31°,2 C. schwankte) sind die psychrometrischen Beobachtungen von meinem Reisegefährten, Hrn. Gustav Rose, angestellt. Dreiunddreifsig dieser Beobachtungen, die neuerlich von Hrn. August in einer Abhandlung *) bekannt gemacht sind, zeugen von der aufserordentlichen Trockenheit der Luft in den Ebenen Sibiriens westlich vom Altai, zwischen dem Irtysch und dem Obi, sobald Südwestwinde lange aus Mittel-Asien geweht haben, in Berührung mit Hochebenen, die sich nicht 200 Toisen über dem Meeresspiegel erheben. In der Steppe *Platowskaja* haben wir den *Thaupunkt* 4°,3 C. unter dem Gefrierpunkt angetroffen, und zwar am 5. August um 1 Uhr Nachmittags, als die Temperatur der Luft im Schatten 23°,7 C. war. Der Unterschied im Stande des trocknen und feuchten Thermometers stieg auf 11°,7 C., während bei gewöhnlicher Beschaffenheit der Atmosphäre dieser Unterschied nur auf 5 bis 6° C. steigt. In der Steppe Platowskaja hätte sich die Luft um 28° C. erkalten müssen, ehe sie Thau abgesetzt haben könnte. Die Luft zwischen

das Thermometer dasjenige, welches die mannigfaltigste Anwendung gestattet. Es dient zur Messung der Wärme, des Lichts und der Feuchtigkeit. Es ist zugleich Thermometer, Barometer, Hygrometer und Photometer. Der von der berühmten Accademia del Cimento und dem Physiker Le Roi eingeschlagene Weg wurde von Saussure und Deluc verlassen, die einen Theil ihres Lebens an die Vervollkommnung der Hygrometer mit starren Substanzen setzten. Die schönen Arbeiten von Dalton haben erlaubt, statt der Haar- und Elfenbeinhygrometer die Bestimmung des Thaupunkts zu setzen, und auf die Bestimmung dieses Punktes gründen sich die Hygrometer von Leslie und Daniell, wie das Psychrometer von August.

*) Ueber die Fortschritte der Hygrometrie in der neuesten Zeit u. s. w. Berlin 1830.

Barnaul und dem berühmten Bergwerk am Schlangenberg, in einer zwischen den Breiten 51° $\frac{3}{4}$ und 53° eingeschlossenen Zone, enthielt folglich nur 0,16 an Dämpfen, was den Graden 28° oder 30° des Haarhygrometers entspricht. Jene Trockenheit ist unzweifelhaft die gröfste, welche bisher in niederen Regionen der Erde beobachtet worden ist. Hr. Erman, der Vater, der sich viel mit hygrometrischen Untersuchungen beschäftigt und dabei gleichzeitig das Psychrometer und die Hygrometer von Daniell und Saussure angewandt, hat das letztere nur ein einziges Mal, und zu seinem grofsen Erstaunen (zu Berlin am 20. Mai 1827 um 2 Uhr Nachmittags) auf 42° stehen gesehen, ebenfalls bei der Temperatur 23°,7, welche wir in der Steppe Platowskaja antrafen.

Unter den Tropen, auf einem Plateaux von 1200 Toisen Höhe, in dem Thale von Mexico, welches Seen von beträchtlicher Gröfse, umgeben von einem dürren und salzigen Boden, einschliefst, habe ich, während das Thermometer im Schatten ebenfalls 22°,5 und 23°,7 zeigte, eine Trockenheit von 40° bis 42° des Saussureschen Hygrometers beobachtet, also eine der von Hrn. Erman wahrgenommenen sehr nahe kommende. Hr. Gay-Lussac sah auf seiner berühmten Luftfahrt in einer Höhe von 2365 Toisen (die die des Mont-Blanc um 175 Toisen übertrifft) das Hygrometer Saussure's (dessen Fixpunkte wohl berichtigt waren) in einer Temperatur von 4° C. bis 25°,3 zurückweichen, was nur 2^{mm},79 für die Spannung der Wasserdämpfe gäbe.

Wenn die fossilen Knochen der grofsen tropischen Thiere, welche man neuerlich in den goldführenden Gebieten auf den Rücken des Urals *) gefunden hat, beweisen, dafs diese Kette in einer sehr späten Epoche

*) Die fossilen Knochen der Pachydermen sind in den Ebenen östlich und westlich vom Ural, an den Ufern des Irtysch und der Kama, längst bekannt.

gehoben wurde *)„ so ist die Gegenwart und die Erhaltung derselben Gerippe, bedeckt mit Fleisch und andern weichen Theilen, am Ausflufs der Lena und an den Ufern des Wilhui, unter den Breiten 72° und 64°, eine noch erstaunlichere Thatsache. Die Entdeckungen von Adams und Pallas haben ein neues Interesse erlangt seit die auf der Expedition des Capitain Beechey in Kotzebue's-Sund (Breite 66° 13', Länge 163° 25' W.) unternommenen mühsamen Untersuchungen und Herrn Buckland's **) tieferes Studium der geognostischen Sammlung aus der Escholtz-Bai es fast zur Gewifsheit gebracht haben, dafs im Norden Asiens wie im Nordwesten Amerika's die fossilen Gerippe, ohne und mit Fleisch, sich nicht in Eismassen finden, sondern in demselben aufgeschwemmten Lande (*diluvium*), welches in den meisten Gegenden der tropischen und gemäfsigten Zone beider Welten die Tertiärformationen bedeckt. Nur eine instantane Erkältungs-Ursache, sagt jener berühmte Naturforscher ***), dem wir die bewundernswürdigen Un-

*) Dieselbe Folgerung findet ihre Anwendung auf die Andes, wo, in beiden Hemisphären, auf den Plateaux von Mexico, von Cundinamarca (bei Bogota), von Quito und Chili fossile Knochen vom Mastodonten in 1200 bis 1500 Toisen Höhe gefunden werden. (Meine *Relat. histor. T. I p.* 386, 414, 429; *T. III p.* 579.)

**) Beechey, *Voyage to the Pacific and Berings-Strait*, 1831. *T. I p.* 257—323; *T. II p.* 560, 593—612.

***) Cuvier, *Ossemens fossiles* 1821, *T. I p.* 203. »Alles macht es ungemein wahrscheinlich, dafs die Elephanten, welche das fossile Elfenbein lieferten, in den Ländern, wo man gegenwärtig ihre Knochen findet, lebten und wohnten. Sie können nur durch eine Umwälzung, welche alle damals lebenden Thiere tödtete, oder durch eine Veränderung des Klima's, welche ihre Fortpflanzung daselbst hinderte, verschwunden seyn. Was aber konnte die Ursache davon seyn; sie hat sehr plötzlich wirken müssen. — Wäre die Kälte gradweise und langsam eingetreten, so würden diese Knochen, und noch vielmehr die weichen Theile, von denen diese noch zuweilen umgeben sind, Zeit gehabt ha-

tersuchungen über die ausgestorbenen Thiergattungen verdanken, hat diese weichen Theile Jahrtausende lang erhalten und aufbewahren können. Beschäftigt während meines Aufenthalts in Sibirien mit Untersuchungen über die Wärme der unterirdischen Schichten, habe ich geglaubt in der Kälte, welche, ungeachtet der Wärme der gegenwärtigen Sommer, in einer Tiefe von 5 bis 6 Fuſs herrscht, eine Erklärung dieser Erscheinung zu sehen.

Während in den Monaten Juli und August die Luft am Mittage eine Temperatur von 25° bis 30°,7 C. besaſs, fanden wir zwischen dem Kloster *Abalak* und der Stadt *Tara* (Breite 56½ bis 58), bei den Dörfern *Tschitowskoi* und *Bakschewa*, so wie zwischen *Omsk* und *Petropablowsk* (auf der Kosaken-Linie von Ischym, Breite 54° 52′—54° 59′), bei *Schankin* und *Poladennaya Kreporst*, vier nicht tiefe Brunnen, ohne Ueberreste von Eis an ihrer Einfassung, deren Temperatur war: +2°,6, 2°,5, 1°,5 und 1°,4 C. Diese Beobachtungen wurden unter der Breite von Nord-England und Schottland angestellt, und diese Temperatur des Bodens von Sibirien erhält sich den ganzen Winter hindurch. Hr. Adolph Erman hat zwischen Tomsk und Krasnojarsk, auf dem Wege von Tobolsk nach Irkuzk, ebenfalls zwischen den Breiten 56° und 56°½, Quellen von +0°,7 und 3°,8 C. angetroffen, während die Atmosphäre bis auf —24° C. abgekühlt war; aber einige Grade nordwärts, sowohl auf sehr unbedeutenden Bergen (unter 59° 44′ Breite, wo die mittlere Temperatur des Jahres kaum —1°,4 ist) als auch in den Steppen jenseits der Breite 62°, bleibt der

ben sich zu zersetzen, wie die, welche man in heiſsen und gemäſsigten Ländern findet. Es würde unmöglich gewesen seyn, daſs ein ganzer Leichnam, wie der von Hrn. Adams entdeckte, sein Haar und seine Haut behalten hätte, wäre er nicht unmittelbar von dem Eise, das ihn uns aufbewahrt hat, eingeschlossen worden. Alle Hypothesen von einer allmäligen Erkältung der Erde oder einer Veränderung in der Neigung der Erdaxe fallen mithin von selbst.«

Boden in einer Tiefe von 12 bis 15 Fuſs gefroren. Ich hoffe, daſs Untersuchungen, die man mir versprochen hat zu Beresow und Obdorsk, nahe am Polarkreis, in verschiedenen Monaten des Sommers anzustellen, uns bald belehren werden, wie stark die veränderliche Dicke der Eisschicht ist, oder besser gesagt, der Schicht feuchten gefrornen Erdreichs, die von kleinen Eisgängen durchsetzt wird und Gruppen kleiner Eiskrystallen porphyrartig einschlieſst. Zu Bogoslowsk, wo ein geschickter Bergbeamte, Hr. Beger, auf meine Bitte so gütig war, in einem torfigen, wenig von Bäumen beschatteten Boden einen Brunnen graben zu lassen, fanden wir, mitten im Sommer, in 6 Fuſs Tiefe eine gefrorene Erdschicht von mehr als 9½ Fuſs Dicke. Zu *Jakutzk*, noch 4°½ südlich vom Polarkreis, ist das unterirdische Eis ein allgemeines und immerwährendes Phänomen, ungeachtet der hohen Temperatur im Juli und August. Man kann sich denken, wie rasch von 62° bis 72° Breite von Jakutzk bis zur Mündung der Lena, die Dicke dieser gefrorenen Erdschicht zunehmen muſs.

Tieger, ganz den indischen ähnlich *), zeigen sich noch heutigen Tags von Zeit zu Zeit in Sibirien bis zur Breite von Berlin und Hamburg. Sie leben ohne Zweifel im Norden des Himmelsgebirges (Muz-tagh) und machen ihre Streifzüge bis zum Westabhange des *Altai*, zwischen *Buchtharminsk*, *Barnaul* und der berühmten Silbergrube am *Schlangenberg*, wo man mehrere von auſserordentlicher Gröſse getödtet hat. Diese Thatsache, welche sehr von den Zoologen beachtet zu werden verdient, knüpft sich an andere für die Geologie sehr wichtige Erscheinungen. Thiere, die wir gegenwärtig als Bewohner

*) Mein Reisegefährte, Hr. Ehrenberg, hat über den nordasiatischen Tieger und über den langhaarigen Panther, der von Kaschgar bis zur Mitte der Lena wohnt, interessante Nachrichten in den *Annal. des sciences nat. T. XXI p.* 387—412 bekannt gemacht.

der heifsen Zone ansehen, haben ehemals (worauf so viele geologische Thatsachen hindeuten), gleich den Bambusarten, den baumartigen Farrnkräutern, den Palmen und den Corallenthieren, im Norden des alten Continents gelebt. Wahrscheinlich geschah es unter dem Einflufs der inneren Erdwärme, die, durch Spalten in der oxydirten Kruste, in den nördlichsten Regionen mit der Atmosphäre in Verbindung stand. Es hat mir bei Erörterung der urweltlichen Veränderungen der Klimate immer geschienen *), als dürften die Geologen die Erscheinung der baumförmigen Monocotyledonen (entblöfst von Rinde und jenen Appendicularorganen, welche unsere Dicotyledonen ohne Nachtheil durch die Winterkälte verlieren können) nicht trennen von dem Phänomen der grofsen fossilen Pachydermen. Mir ist begreiflich, wie in dem Maafse, als die Atmosphäre sich abkühlte (weil die Wirkung der inneren Erdwärme auf die äufsere Kruste schwächer wurde, weil die Spalten sich mit festen Massen oder Felsarten ausfüllten, weil bei der neuen Ordnung der Dinge die Vertheilung des Klima's fast allein von der Ungleichheit der solaren Irradiation abhängig wurde), die Pflanzen- und Thier-Klassen, die eine gröfsere Temperatur-Gleichheit erforderten, allmälig aussterben mufsten.

Unter den Thieren haben sich einige der kräftigsten Racen ohne Zweifel nach Süden begeben, und daselbst noch einige Zeit in dem den Wendekreisen näher liegenden Regionen gelebt. Andere Species und Varietäten (ich er-

*) Man sehe: *Denkschriften der Berliner Akademie* f. 1822, S. 154, und meine: *Ansichten der Natur* (2. Ausgabe) Bd. II S. 188. Zu meiner lebhaften Genugthuung sehe ich, dafs Hr. Buckland, welcher uns so viele sonderbare Thatsachen über das Leben und die Gewohnheiten der urweltlichen Thiere kennen gelehrt hat, ebenfalls diesen innigen Zusammenhang zwischen der Coexistenz oder vielmehr zwischen dem örtlichen Verhalten, welches die Korallenthiere, die monocotyledonischen Hölzer, die Meerschildkröten (*Chelonia*) und die fossilen Mastodonten der kalten Regionen darbieten, hervorhebt (Beechey, *T. II p.* 611).

innere an die Löwen des alten Griechenlands, an den Königstieger der Dzungarei, den schönen langhaarigen Irbis-Panther Sibiriens) sind nicht so weit gegangen; sie konnten sich vermöge ihrer Organisation und Lebensweise mitten in der der gemäßsigten Zone, und (wie Hr. Cuvier hinsichtlich der dickhaarigen Pachydermen annimmt) selbst in nördlicheren Regionen acclimatisiren. Wenn nun bei einer der letzten Umwälzungen, welche die Oberfläche unseres Planeten erlitt, z. B. bei der Hebung eines neueren Gebirges, Elephanten mit stumpferer Unter-Kinnlade, mit schmäleren und weniger sinuös gebänderten Backenzähnen, zweihörnige Rhinocerote, ganz verschieden von denen Sumatra's und Afrika's, im Laufe des sibirischen Sommers nach den Ufern des Wilui und dem Ausfluſs der Lena gewandert sind, so wird man hernach daselbst ihre Leichname finden in der Tiefe von einigen Fuſsen, eingehüllt in gefrorene Erdschichten, die sie gegen Fäulniſs schützen. Schwache Erdstöſse, Risse im Boden, und Veränderungen in der Beschaffenheit der Oberfläche weniger bedeutend als die, welche noch in unsern Tagen auf der Hochebene von Quito oder in dem indischen Archipel vorgehen, können diese Conservation der fleischigen Theile der Elephanten und Rhinocerote bewirkt haben. Die Annahme einer plötzlichen Erkaltung der Erdkugel scheint mir folglich durchaus unnöthig. Man muſs nicht vergessen, daſs der Königstieger, den wir gewohnt sind ein Thier der heiſsen Zone zu nennen, noch gegenwärtig in Asien von den Gränzen Indostans bis zum Tarbagatai, am Oberen Irtysch und in der Kirgisensteppe, in einer Ausdehnung von 40 Breitengraden, lebt *), und daſs er

*) Um die Continuität dieser Wohplätze des Königstiegers auf einer Zone, die von Süd nach Nord mehr als 1000 Lieus Länge hat, zu erweisen, füge ich den zwischen dem Altai und dem Himmelsgebirge liegenden Regionen, die in der zoologischen Abhandlung des Hrn. Ehrenberg angeführt werden, noch die mit hohen Schilf bedeckten Sümpfe der Stadt Schayar (unter der

im Sommer von Zeit zu Zeit Streifzüge von 100 Lieues noch weiter gegen Norden macht. Individuen, welche im nordöstlichen Sibirien bis zu den Breiten 62° und 65° gelangten, könnten durch einen Erdfall oder durch sonst eine nicht ungewöhnliche Erscheinung noch in dem jetzigen Zustande des Klima von Asien ein Conservations-Phänomen erleiden, das denen des Mammuth von Adams und der Rhinocerote am Wilui ganz ähnlich wäre. Ich habe geglaubt, diese Betrachtungen über die gegenwärtige Temperatur des nordasiatischen Bodens und über die geographische Verbreitung einer Gattung von grofsen Fleischfressern (des Königstiegers) von der Aequatorialzone bis zur Breite des nördlichen Deutschlands den Naturforschern und Geologen vorlegen zu müssen. Man wird, ich wage es mir zu schmeicheln, nicht verwechseln, was wahrscheinlichen Hypothesen angehört, und was den eines hohen Grades von Genauigkeit und Gewifsheit fähigen numerischen Elementen der Klimatologie beizuzählen ist.

V. *Uebersicht der im Jahre* 1830 *bei der Academie der Wissenschaften in St. Petersburg von den HH. Wischnewsky und Tarchanoff angestellten meteorologischen Beobachtungen, berechnet von A. T. Kupffer.*

Das Thermometer ist nach Réaumur, das Barometer in französische Zolle eingetheilt. Die Barometerhöhen sind auf +14° R. reducirt. Die Monate und Tage sind nach neuem Styl gezählt.

Breite von Constantinopel und des nördlichen Spaniens) in der Kleinen Bucharei hinzu, welche Sümpfe die Schlupfwinkel sehr reifsender Tieger sind.

4. Mittlerer Stand des Thermometers für jeden Monat.

Monat.	7 U. Morg.	2 U. Nachm.	9 U. Ab.	Mittel.
Januar	— 9.46	— 8.03	— 8,44	— 8,64
Februar	— 8.54	— 6.55	— 7,24	— 7,45
März	— 4.59	— 1.13	— 3,25	— 2,99
April	+ 0.83	+ 4.30	+ 1,18	+ 2,10
Mai	+ 4.46	+ 7.76	+ 3,86	+ 5,36
Juni	+11.59	+14.67	+10,89	+12,38
Juli	+13.11	+15.73	+12,66	+13,83
August	+13.16	+16.65	+12,65	+14,15
September	+ 6.08	+10.77	+ 7,33	+ 8,06
October	+ 3.17	+ 5.68	+ 3,86	+ 4,24
November	— 0.36	+ 0.72	+ 0,28	+ 0,21
December	— 4.76	— 3.64	— 4,11	— 4,17
Mittel	+ 2.46	+ 4.74	+ 2,47	+ 3,09

Nach den Brewster'schen Tabellen (siehe *Edinb. Journ. of Science June 1826*) sind 0°,11 R. von dem Mittel aus Beobachtungen abzuziehen, welche 7 Uhr Morgens, 2 Uhr Nachmittags und 9 Uhr Abends angestellt worden sind, wenn man die wahre mittlere Temperatur des Jahres haben will. Die mittlere Temperatur von St. Petersburg war also im Jahre 1830 +2°,98 R.

Ich brauche hier nicht zu erinnern, dafs die Brewster'schen Tabellen vielleicht nur für Schottland anwendbar sind. Wir sind gezwungen sie hier zu gebrauchen, weil wir noch nicht im Besitze von Beobachtungen sind, die nach dem Muster der Leith'schen, unter der Leitung des Hrn. Dr. Brewster mit so vieler Ausdauer unternommenen, angestellt wären.

II. Höchster und niedrigster Stand des Thermometers in jedem Monat, an den angeführten Stunden, und gröfste Differenz, in jedem Monat, zweier an demselben Tage angestellten Beobachtungen.

Namen der Monate.	Höchste um 2 Uhr Nachmitt. beobachtete Temperatur.	Niedrigste um 7 Uhr Morgens beobachtete Temperatur.	Differenz	Gröfster Unterschied zweier an demselben Tage angestellten Beobachtungen.
Januar	— 1°,2	—19°,2	18°,0	6°,8
Februar	+ 0 ,3	—16 ,5	16 ,8	7 ,7
März	+ 4 ,3	—17 ,9	22 ,2	7 ,2
April	+13 ,2	— 5 ,2	18 ,4	9 ,9
Mai	+16 ,0	0 ,0	16 ,0	7 ,5
Juni	+22 ,0	+ 8 ,1	13 ,9	8 ,8
Juli	+23 ,8	+ 8 ,3	15 ,5	6 ,5
August	+24 ,0	+ 9 ,4	14 ,6	8 ,0
September	+14 ,5	+ 1 ,1	13 ,4	9 ,5
October	+12 ,7	— 2 ,2	14 ,9	7 ,4
November	+ 6 ,3	— 9 ,5	15 ,8	4 ,0
December	+ 1 ,2	—12 ,1	13 ,3	7 ,1
Mittel	+11°,4	— 4 ,6		

III. Mittlerer Stand des Barometers, aus drei Mal täglich (um 7 Uhr Morgens, 2 Uhr Nachmittags und 9 Uhr Abends) angestellten Beobachtungen.

Monat.	Barometer.	Monat.	Barometer.
Januar	28,454	July	28,044
Februar	28,025	August	27,937
März	28,077	September	28,212
April	28,073	October	27,991
Mai	28,160	November	28,315
Juni	28,056	December	28,051

Mittel für das ganze Jahr: 28',116

IV. Höchster und niedrigster Stand des Barometers in jedem Monat.

Monat.	Höchster Stand.	Niedrigst. Stand.	Unterschied.
Januar	29'',14	27'',75	1,39
Februar	28 ,67	26 ,93	1,74
März	28 ,83	27 ,33	1,50
April	28 ,55	27 ,48	1,07
Mai	28 ,51	27 ,47	1,04
Juni	28 ,64	27 ,53	1,11
Juli	28 ,46	27 ,70	0,76
August	28 ,17	27 ,70	0,47
September	28 ,60	27 ,78	0,82
October	28 ,41	27 ,17	1,24
November	28 ,99	27 ,36	1,63
December	29 ,05	27 ,26	1,79
Mittel	28'',67	27'',46	1,21

V. Winde, aus drei Mal täglich angestellten Beobachtungen.

Monat.	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.	Windstille.
Jan.	1	14	0	8	13	41	12	0	4
Febr.	7	18	4	11	7	33	2	1	1
März	0	7	4	6	29	38	8	0	1
April	1	13	2	10	14	43	2	0	5
Mai	8	27	1	6	5	25	17	1	3
Juni	4	18	9	5	9	27	11	0	7
Juli	7	13	2	6	7	40	12	4	2
Aug.	0	4	5	14	15	41	8	0	6
Sept.	11	23	11	1	13	16	3	3	9
Oct.	12	19	3	12	10	30	1	2	4
Nov	3	11	2	14	24	31	2	0	3
Dec.	2	8	0	13	48	15	3	0	4
Summa	56	175	43	106	194	380	81	11	49

VI. Mittlerer Barometerstand bei jedem Winde, aus allen 1095 Beobachtungen des ganzen Jahres berechnet.

Winde.	Barometer.	Winde.	Barometer.
Nord	28',091	Südwest	28',085
Nordost	28 ,229	West	28 ,142
Ost	28 ,156	Nordwest	28 ,142
Südost	28 ,071	Windstille	28 ,256
Süd	28 ,025		

Winde, die sich durch ihre Stärke auszeichneten, waren folgende:

Den 9. Februar, Südost.

Den 12., 13., 30. März, Süd; den 31. März, Südwest.

Den 5. April, Süd.

Den 8. Mai, Nordost.

Den 14. August, Süd.

Den 27. December, Süd.

Im Laufe des Jahres 1830 gab es in St. Petersburg:

90 Regentage.

68 Schneetage.

10 Gewittertage.

28 Tage, an welchen der Himmel vom Morgen zum Abend ununterbrochen heiter war.

58 Tage, an welchen der Himmel vom Morgen bis Abend ununterbrochen und gleichmäfsig bedeckt war.

218 Tage, an welchen der Himmel den gröfsten Theil des Tages über bewölkt war.

143 Tage, an welchen sich Nebel erhoben, gewöhnlich Morgens, seltener Abends; höchst selten dauerten sie über Mittag hinaus.

Der letzte Frost fand statt den 4. Mai.

Der erste Frost trat ein den 14. October.

Das Thermometer erhob sich über Null, zum er-

sten Mal den 27. Febr., zum letzten Mal den 28. December.

Die Newa ging auf den 21. April.

Die Newa fror zu den 1. December.

Hier ist zu bemerken, dafs die Newa nicht eher zugeht, als bis eine hinlängliche Menge Eis aus dem Ladoga-See angekommen ist, welches in kurzer Zeit zusammenfriert.

Nordlichter wurden in den Abendstunden folgender Tage beobachtet:

Den 24. Februar.
Den 18. März.
Den 5. Mai.
Den 17., 18., 19. September.
Den 18, 22. October.
Den 8., 15. December.

VI. *Notiz über die mittlere Temperatur und Barometerhöhe in Iluluk auf der Insel Unalaschka (Breite 53°, Länge 210° östlich von Ferro);*

von A. T. Kupffer.

Herr Flottenkapitain Lütke hat mir eine Reihe meteorologischer Beobachtungen, die in Unalaschka angestellt worden sind, mitgetheilt, und ich eile, sie als einen willkommenen Beitrag zur Kenntnifs der meteorologischen Verhältnisse jener so wenig bekannten Gegenden bekannt zu machen.

Die Barometerhöhen sind in englischen Zollen angegeben, das Thermometer (mit 80theiliger Skale) hing nach Norden, im Schatten, in einem an beiden Enden offenen Hohlcylinder von Blech. Es wurde drei Mal

täglich beobachtet, gegen 8 Uhr Morgens, 1 Uhr Nachmittags und 9 Uhr Abends. Die Dienstverhältnisse des Beobachters haben demselben nicht immer erlaubt, genau zu den angegebenen Stunden zu beobachten; es geschah oft eine halbe Stunde früher oder später. Die Temperatur auf Unalaschka variirt indefs zu wenig, als dafs dieser Umstand einen merkbaren Fehler in den mittleren Resultaten hätte hervorbringen können.

I. Mittlere Temperatur jedes Monats, nach altem Styl.

Namen der Monate.	Mittlere Temperatur.	Namen der Monate.	Mittlere Temperatur.
1827 October	+ 1,7	1828 September	+6,2
November	+ 2,0	October	+2,9
December	+ 1,5	November	—0,1
1828 Januar	+ 3,7	December	—3,1
Februar	— 0,1	1829 Januar	—1,5
März	— 0,1	Februar	—0,4
April	+ 2,1	März	+0,1
Mai	+ 4,1	April	+0,8
Juni	+ 6,6	Mai	+4,1
Juli	+ 8,4	Juni	+6,6
August	+11,0		

Mittel aus den zwölf ersten Monaten 4°,0 R.
- des Jahres 1828 3 ,5
- aus den zwölf letzten Monaten 3 ,0

Nach den in Leith unter der Leitung des Hrn. Dr Brewster angestellten Beobachtungen *) ist das Mittel aus Beobachtungen um 8 Uhr Morgens, 1 Uhr Nachmittags und 9 Uhr Abends angestellt, nicht sehr von der wahren mittleren Temperatur des ganzen Jahres verschieden.

*) *Edinburgh Journal of Science, June* 1826.

II. Mittlere Barometerhöhe, und höchster und niedrigster Stand derselben in jedem Monat.

Namen der Monate.	Mittlere Barometer-höhe. Engl. Zolle.	Maximum.	Minimum.	Unterschied.
1827 October	29,33	29,85	29,01	0,84
November	29,44	30,08	28,60	1,48
December	29,65	30,26	28,87	1,39
1828 Januar	29,47	29,94	28,77	1,17
Februar	29,17	28,84	28,35	1,49
März	29,42	30,08	28,72	1,36
April	29,32	29,74	28,98	0,76
Mai	29,50	30,06	28,94	1,12
Juni	29,44	29,78	28,96	0,82
Juli	29,56	29,82	29,18	0,64
August	29,65	30,09	29,20	0,80
September	29,41	29,77	28,74	1,03
October	29,16	29,82	28,45	1,37
November	29,20	29,85	28,66	1,19
1829 Januar	29,83	30,38	28,71	1,67
Februar	29,20	29,69	28,55	1,14
März	29,08	29,98	28,57	1,47
April	29,55	30,24	28,44	1,80
Mai	29,43	30,11	28,80	1,31
Juni	29,55	29,89	29,05	0,84
Mittel	29,41	29,95	28,75	

Das Barometer, welches zu diesen Beobachtungen gedient hat, stand, als es mit dem Lütke'schen verglichen wurde, um 0,32 engl. Zoll niedriger als dieses; das Lütke'sche aber war mit dem Barometer der Kopenhagener Sternwarte verglichen und mit demselben vollkommen übereinstimmend gefunden worden. Es sind also diese 0,32 zu den obigen Angaben zu addiren. So bekommt man für die mittlere Barometerhöhe in Iluluk 29,73 engl. Zoll.

Die Temperatur des Quecksilbers ist unglücklicher weise nicht beobachtet worden, doch kann man anneh-

men, dafs die mittlere Temperatur derselben +14 R. gewesen ist.

III. Winde, drei Mal täglich beobachtet.

Während des ersten Jahres wurden folgende Windesrichtungen beobachtet;

92	Nordwinde	170	Süd
49	NNW.	34	SSO.
59	NW.	49	SO.
32	WNW.	15	OSO.
85	West	23	Ost
45	WSW.	6	ONO.
106	SW.	42	NO.
41	SSW.	21.	NNO.

Man sieht, dafs die Süd- und Südwestwinde die vorherrschenden sind.

Notiz über die mittlere Barometerhöhe und Temperatur von Sitka, auf der Nordwestküste von Amerika (Breite 54° $\frac{3}{4}$, Länge 242° $\frac{1}{4}$ östl. von Ferro); von Demselben.

Die nachstehende Tabelle ist mir ebenfalls von Hrn. Lütke mitgetheilt worden; und obgleich die Daten hier weniger vollständig sind, als für Unalaschka, so werden sie doch mit ziemlicher Gewifsheit auf die mittlere Barometerhöhe und Temperatur von Sitka schliefsen lassen.

Tabelle, enthaltend die Maxima und Minima der Barometerhöhen und Temperaturen jeden Monats (alten Styls), welche im Jahre 1828 in Sitka beobachtet worden sind.

Namen der Monate.	Barometer in engl. Zollen. Maximum.	Minimum.	Thermometer. nach Réaum. Maximum.	Minimum.
Januar	29',80	29',20	+ 5°	— 7°
Februar	29 ,83	29 ,23	+ 6	— 1
März	30 ,44	29 ,06	+ 8	— 2
April	30 ,27	29 ,38	+13 ,5	+ 4
Mai	30 ,12	29 ,57	+12	+ 5 ,5
Juni	30 ,20	29 ,45	+16	+ 7
Juli	30 ,20	29 ,75	+18	+ 9
August	30 ,17	29 ,34	+15	+ 5
September	30 ,20	29 ,20	+12	+ 2
October	30 ,01	28 ,78	+10	— 1
November	30 ,10	28 ,66	+ 6	— 2
December	30 ,57	28 ,72	+ 6 ,5	—10
Mittel	30',16	29',20	+10 ,7	+ 0 ,8

Wenn man für Iluluk das Mittel der Maxima und Minima der Barometerhöhen jeden Monats für das Jahr 1828 nimmt (siehe die Tabelle II in der vorhergehenden Notiz), so findet man:

Mittel der zwölf Maxima	29',92
Mittel der zwölf Minima	28 ,80
Mittel	29 ,36.

Hiezu sind 0',32 zu addiren, denn so viel betrug der Fehler des Barometers; man bekommt alsdann:

Mittel der in Iluluk beobachteten Maxima und Minima der Barometerhöhe jeden Monats des Jahres 1828 — 29',68

Für Sitka ist dieses Mittel, wie aus der vorhergehenden Tabelle zu ersehen ist — 29',68

Diese grofse Uebereinstimmung von Beobachtungen, die ganz unabhängig von einander, von verschiedenen

Beobachtern, mit verschiedenen Instrumenten, die nicht unmittelbar mit einander verglichen wurden, angestellt worden sind, giebt diesen Beobachtungen ein gröſseres Gewicht, als man anfänglich geneigt wäre ihnen zuzugestehen.

Es ist leicht, sich für Iluluk zu überzeugen, daſs das Mittel der monatlichen Maxima und Minima der Barometerstände sich nicht weit von der wahren mittleren Barometerhöhe entfernt; und so kann wohl auch für Sitka das obige Mittel von 29",68 als wenig verschieden von der wahren mittleren Barometerhöhe, auf +14° R. reducirt, angesehen werden. Dieses Resultat bestätigt eine Bemerkung über die Höhe des Barometers an der Oberfläche des Ochozkischen Meeres, die schon Hr. Erman gemacht hat (diese Annalen, 1829, No. 10). Was die thermometrischen Beobachtungen betrifft, so weiſs man ebenfalls, daſs sich das Mittel der monatlichen Maxima und Minima wenig von der wahren mittleren Temperatur des Jahres entfernt. Das Mittel aus diesen monatlichen Maximis und Minimis ist für Sitka +5°,8, welches hiernach als die mittlere Temperatur von Sitka für 1828 ziemlich genau entsprechend angesehen werden kann; doch glaube ich, verdient dieses Resultat nicht viel Vertrauen.

VII. *Monatliche Mittel der Barometerstände zu Genf und auf dem Gr. Bernhard um 9 Uhr Morgens und 3 Uhr Abends während der drei letzten Jahre.*

Zum ferneren Belege des Wegfallens der täglichen Periode auf dem St. Bernhard. Man sehe diese Annalen Bd. XIII (89) S. 149.) Die Barometerstände sind auf +10° R. reducirt, und in Pariser Linien (und deren Decimaltheile, nicht wie, für Genf, im Originale, der *Bibl. universelle,* in Sechszehntel der Linie) ausgedrückt, jedoch für Genf um 26, und für den Bernhard um 20 Par. Zoll zu vermehren.

1 8 2 8.	Genf, Meereshöhe: 208,77 Tois.			St. Bernhard, Meereshöhe: 1278 Tois.		
	9 Uhr.	3 Uhr.	Differenz	9 Uhr.	3 Uhr.	Differenz.
Januar	12,725	12,544	+0,181	10,02	10,07	—0,05
Februar	9.735	9,272	+0,463	6,68	6,67	+0,01
März	10,474	9,742	+0,732	7,66	7,77	—0,11
April	10,358	9,700	+0.658	8,28	8,34	—0,06
Mai	10,143	9,637	+0,506	9,45	9,43	+0,02
Junius	12,150	11,169	+0,981	11,11	11,18	—0,07
Julius	10,036	9,821	+0,215	10,29	10,48	—0,19
August	10,990	10,759	+0,231	10,79	10,85	—0,06
September	11,692	11,248	+0,444	11,20	11,19	+0,01
October	12,474	12,220	+0,254	10,78	10,81	—0,03
November	11,638	11,477	+0,161	9,69	9,81	—0,12
December	13,488	13.070	+0,418	10,45	10,42	+0,03
1 8 2 9.						
Jannar	8,099	7,717	+0,382	6,26	6,24	+0,02
Februar	11,884	11,502	+0,382	9,07	9,08	—0,01
März	8,693	8,216	+0,477	7,98	8,06	—0,08
April	8,285	7,925	+0,360	8,27	8,24	+0,03
Mai	10,472	9,996	+0,476	10,73	10,90	—0,17
Juni	11,375	10,931	+0,444	11,38	11,52	—0,14
Juli	11,022	10,766	+0,256	11,46	11,44	+0,02
August	11,409	11,262	+0,147	0,17	0,13	+0,04
September	10,225	9,998	+0,227	10,82	10,96	—0,14
October	11,784	11,504	+0,280	11,14	11,10	+0,04
November	11,071	10,779	+0,292	9,64	9,49	+0,15
December	11,194	11,084	+0,110	8,53	8,47	+0,06
1 8 3 0.						
Januar	10,371	9,964	+0,407	7,42	7,20	+0,22
Februar	10,839	10,594	+0,245	8,61	8,58	+0,03
März	13,462	12,853	+0,609	11,76	11,40	+0,36
April	10,698	10,414	+0,284	10,73	10,61	+0,12
Mai	10,353	9,986	+0,367	10,82	10,91	—0,09
Juni	10,471	9,208	+0,263	10,45	10,50	—0,05
Juli	11,778	11,439	+0,339	13,12	13,16	—0,04
August	11,109	10,612	+0,497	12,27	12,26	+0,01
September	10,761	10,238	+0,523	10,65	10,62	+0,03
October	13,601	13,298	+0,303	12,99	12,92	+0,07
November	11,786	11,275	+0,511	11,03	10,85	+0,18
December	7,889	7,585	+0,304	6,56	6,42	+0,14

VIII. *Beobachtungen der Gröfse des Luftdrucks über den Meeren und von einer sehr bestimmten Beziehung dieses Phänomens zu den geographischen Coordinaten der Orte;*

von A. Erman.

Einleitendes.

Von der in der Physik geläufig gewordenen Erfahrung, dafs einer besonders durchgeführten Ausbildung diejenigen ihrer Disciplinen genossen, welche in den vorzugsweise sogenannten mathematisch-empirischen, oder vielleicht passender, messenden Wissenschaften eine Anwendung fanden, giebt es eine Ausnahme in *Bezug auf die Gesetze des Luftdruckes*, deren Kenntnifs doch in der barometrischen Hypsometrie unerläfslich ist. — Es ist zwar bereits Bedeutendes geleistet für die Gesetze der Abnahme des Druckes in einem senkrechten Durchschnitte der Atmosphäre und für den freilich höchst seltenen Fall einer in solchem Durchschnitte herrschenden absoluten Ruhe möchte man wohl schon jetzt einer vollkommenen Einsicht sich erfreuen. Sobald daher in einerlei senkrechten Luftsäule man zwei gleichzeitige Barometerablesungen besitzt, läfst die daraus erschlossene Höhendifferenz wenig zu wünschen übrig, wenn nur nicht heftige Winde den wirklichen Zustand der Luftsäule von dem bei der theoretischen Betrachtung vorausgesetzten einer vollkommenen Ruhe allzu verschieden machen.

Von der anderen Seite aber darf man es sich nicht verläugnen, dafs noch grofse Dunkelheit herrscht in Bezug auf den Ausgangspunkt der ganzen theoretischen Betrachtung über die mechanische Constitution des Luft-

kreises, die *Kenntniſs nämlich des mittleren Barometerstandes an der Oberfläche der Meere*, und doch ist es auſserdem der Meeresspiegel, den man als Nullpunkt aller terrestrischen Höhenmessungen anzusehen übereingekommen ist.

Eine der vollständigsten Zusammenstellungen aller bisher über diesen wichtigen, aber bei weitem noch nicht erschöpften Gegenstand, erhaltenen empirischen sowohl als theoretischen Aufschlüsse hat neuerlich Hr. Muncke gegeben *), und zwar hält er sich demnächst zu folgenden Annahmen berechtigt:

1) Der mittlere Luftdruck im Meeresniveau sey eine Function der *Breite der Orte*, und zwar *nehme er zu* bei *wachsender Breite*.

2) Am *Aequator* bei 0° Temperatur des ☿ und in Pariser Maaſs betrage er 337''',00
Am *Pole* aber bei 0° Temperatur des ☿ und in Pariser Maaſs 338 ,86

3) Abweichungen von diesem einfachen Grundverhältnisse seyen theils als locale Anomalien zu betrachten, theils habe man sie für nur scheinbar, durch Anwendung fehlerhafter Instrumente hervorgebracht zu halten. Als die stärksten der sich wirklich bestätigt habenden Abweichungen betrachtete man 335''',85 als *Minimum* und 339''',00 als *Maximum* des mittleren jährlichen Barometerstandes.

Die im Folgenden dargestellten Erfahrungen weichen von den meisten dieser Ansichten so bedeutend ab, daſs ich mich sie mitzutheilen scheuen dürfte, wenn nicht nach genauester Prüfung der zu ihrer Erlangung angewandten Instrumente sie für sehr sicher begründet zu halten wären, und wenn nicht überhaupt es durchaus unzulässig wäre rein empirische Ergebnisse deſswegen zu verschweigen, weil sie mit einer bestehenden Theorie in zu starken Widerspruch treten.

Es scheint mir auſserdem, als lieſse schon jetzt für

*) Neues physikalisches Wörterbuch, Bd. I S. 914 sqq.

den Mangel der bisherigen Theorie, den ich im Folgenden empirisch nachgewiesen zu haben glaube, ein theoretischer Grund sich anführen. Man hat nämlich bei allen mathematischen Betrachtungen über die Abhängigkeit des mittleren Luftdruckes von der Lage der Orte die Atmosphäre immer in einem Zustande der Ruhe vorausgesetzt, welchen nicht allein sie niemals wirklich annimmt, sondern um welchen sogar kein einziger ihrer Theile als oscillirend betrachtet werden kann. Nur in *dem* Falle nämlich, wo an irgend einem Ort im Laufe eines Jahres für jeden vorkommenden Wind ein ihm diametral entgegengesetzter gleich stark und gleich häufig geherrscht hätte, könnte man für diesen Ort den *mittleren* Zustand der Atmosphäre als den der Ruhe betrachten; da aber, im directen Widerspruche hiermit, für einen jeden Ort nach geschehener Abgleichung, durch Rechnung, aller im Laufe eines Jahres vorgekommenen einander entgegengesetzten Winde immer eine sehr bestimmte und meist sehr starke einseitige Luftströmung übrig bleibt, so ist die Atmosphäre keinesweges als ein in Ruhe befindliches Luftsphäroïd zu betrachten, sondern vielmehr als ein in allen seinen Theilen stark und auf eine gesetzmäfsige Weise bewegtes. Der *Ausgangspunkt* aber der *bisherigen Theorie* wird so precair, dafs ein starker Widerspruch der Erfahrung mit den a priorischen Resultaten eben nicht unerwartet kommen kann.

Vergleichungsweise zu den oben erwähnten Hauptmomenten unseres bisherigen Wissens über den mittleren Luftdruck an der Meeresfläche erwähne ich hier summarisch meine unten näher zu erörternden Erfahrungen über diesen Gegenstand:

1) Der mittlere Luftdruck im Niveau des Meeres ergab sich uns gleichzeitig abhängig von der *Länge und von der Breite der Beobachtungsorte*, und auf einerlei Meridian *nimmt er ab* mit *wachsender Breite*.

2) Differenzen, die zufolge der beiden die *Gröfse*

des mittleren Luftdruckes bedingenden Elemente (*Länge und Breite*) entstanden, beobachtete ich bis zu 8''',0 ansteigend, obgleich nicht in den höchsten erreichbaren Breiten das Phänomen untersucht wurde. Nach der früheren Theorie sollte aber die gröfste überhaupt als regelmäfsig gedenkbare Differenz nur 1''',9 betragen.

3) Viele frühere Erfahrungen, die für locale Anomalien gehalten wurden, scheinen jetzt einem zwischen dem Luftdrucke und den Coordinaten der Beobachtungsorte stattfindenden Abhängigkeitsverhältnisse sich unterordnen zu lassen.

Bei einer Landreise quer durch den Norden von Asien möchte wohl, den Strand des Ochozkischen Meeres zu erreichen, endlich für einen Jeden ein Gegenstand der Sehnsucht werden. Um so gespannter wird die Erwartung, wenn man am Aldan-Flusse das bis dahin flache Terrain zu den Vorbergen eines Gebirgsystems sich erheben sieht, und nun, vorgefafsten Meinungen gemäfs, erwartet, man werde nur eine hohe Gebirgs-*Kette* zu übersteigen haben, sodann aber schnell in das ersehnte flache Küstenland gelangen. Durchaus anders gestaltet sich die Sache. Nach einer starken Tagereise erreicht man einen von Osten nach Westen kommenden Gebirgsflufs (die *Bjelaja Rjeka*), der bereits in felsiger Thalschlucht rinnet. Mit schneller und ungehinderter Wanderung steigt man, von Gebirgsgipfeln rings umgeben, im Flufsbette aufwärts, und dennoch sieht man erst am fünften Tage die Felsenschlucht sich verengend schliefsen, und den Flufs entspringen in etwa 2300 Fufs absoluter Höhe am Westabhange eines nun steil bis zu 3000 Fufs absoluter Höhe ansteigenden Gebirgsrückens. Von ihm hinab geht es in das mächtige (von NW. nach SO. gerichtete) Längenthal der *Allach-juna*, aber östlich von diesem beginnt ein neuer District des breiten Gebirglandes, dessen

höchste Punkte durch schroffe Abhänge bis zu 4200 Fufs sich erheben. Nach anderen fünf Tagereisen durch dieses sonderbar zerklüftete Hochland betritt man das dritte Längenthal der *Judoma*, an der Stelle, wo der Weg es durchschneidet, noch 2500 bis 2800 Fufs hoch, und jenseits desselben *wiederum* ansteigendes Land, bis *endlich in* 3200 *Fufs Höhe man den oberen Lauf des ersten, mit dem Reisenden in gleicher Richtung*, nach *Osten zu*, fliefsenden Wassers erreicht. — Da, wo dieses Wasser in die *Ochota* ausmündet, bemerkt man freilich schon den Einflufs eines angränzenden Landes von milderem Klima an *dem*, weiter als bisher vorgeschrittenen Aufthauen der Flüsse; ja, etwas stromabwärts von diesem Punkte sieht man schon einzelne Seevögel am fischreichen Flufswasser beschäftigt, dennoch aber steht an der Mündung des erwähnten Baches das Barometer noch auf 301‴,40 Par. Noch geschieht aller Wasserlauf in felsigen Schluchten, und dichter Lärchenwald bedeckt noch immer das von den Thälern seitwärts gelegene Land. Während man daher, das Thal der *Ochota* verlassend, auf Richtwegen durch das bewaldete Land *Ochozk* schneller zu erreichen sich bestrebt, ist man eifriger als je zuvor auf den Stand des Barometers aufmerksam, um an ihm die so seltsam sich verbergende Senkung zum erwünschten Meere zu gewahren. Unter solchen Umständen erreichte ich am 17. *Mai*, bei dichtem, alle Fernsicht verhinderndem, Schneegestöber, die Jakuten-jurte von *Jelan*. Hier war der Lärchenwald spärlicher, und Gehölz von Pappeln und Weiden, den gewöhnlichen Begleitern feuchter Landstriche, vorherrschend geworden; dennoch aber schien es mir auf einem Irrthume zu beruhen, als die erfahrenen Führer versicherten, hier schon sey helles Wetter abzuwarten, weil nach Ochozk hin man ein Terrain zu durchwandern habe, welches bei Fluthzeit von *Meerwasser* mannigfach überspühlt werde. Unglaublich erschien diese Versicherung, denn ein Barometer, auf

dessen Richtigkeit sich zu verlassen ich berechtigt war, hielt sich während der ganzen Dauer unseres Aufenthaltes zu *Jelan* zwischen 326''',25 und 327''',65. Unmöglich konnte man eine Verminderung des Luftdruckes bis zu diesem Punkte gegen die den Physikern geläufige Angabe von 336 Lin. bis 338 Lin. für den Barometerstand am Meeresufer, also um nahe 1 Zoll Quecksilber, ganz allein dem Einfluſs des schneebringenden, aber nicht heftigen Ostwindes zuschreiben; um so weniger, da bei der letzten Ablesung das Wetter bereits bei weitem heller geworden, der Luftdruck aber nur um ein Geringes zugenommen hatte. Nun konnte man wieder in die Ferne sehen, und ich überzeugte mich endlich, daſs es wirklich die von mannigfachen Fluſsarmen durchschnittene Ebene von *Ochozk* sey, die vor uns lag. Es war Ebbe eingetreten, aber Salzbeschlag auf dem ringsum die Ebene bedeckenden Geröllkieſs bewies genugsam, daſs wirklich bis nahe an die Jurte von *Jelan* das Meerwasser austrete. — Ein auf eine anomale Weise geringer Luftdruck am Ufer des Ochozker Meeres wurde demnach mehr als wahrscheinlich!

In einer in den *Annalen der Physik, Bd.* 93 *S.* 337, abgedruckten vorläufigen Anzeige habe ich bereits mitgetheilt, wie durch sympiezometrische Versuche die Richtigkeit der an die früheren Barometerangaben bereits angebrachten Correction von +1''',25 sich bestätigte, wie durch 63 Beobachtungen, unter denen eine Variation zwischen Minimum und Maximum von 333''',13 bei WSW.-Wind bis zu 325''',00 bei OSO.-Wind vorkommt, der mittlere Barometerstand für den Monat Juni zu Ochozk sich =332''',09 ergab *), und wie endlich dieses auffallende Phänomen sich bestätigte:

*) Es betragen für *Upsala*, nahe unter einerlei Breite mit *Ochozk* gelegen, die gröſsten überhaupt vorkommenden Barometervariationen 16''',27, die im *Mai* eintretenden aber nur 11''',82; man durfte dem gemäſs hoffen, zu Ochozk wirklich die um das Mittel

1) Durch den *mittleren Barometerstand zu Peter-Paulshafen*, den ich aus einem mir handschriftlich mitgetheilten Jahrgang von Beobachtungen, die Capitain Stanizkli mit einem guten Heberbarometer anstellte, zu 333‴,56 berechnet und 2) durch eine bereits in der Vorrede zu Gmelin's *Flora Siberiaca* enthaltene schätzbare Angabe, welche das sonderbare Schicksal gehabt hatte, sich der Beachtung der Physiker bisher gänzlich zu entziehen. Nach 11monatlichen Beobachtungen (mit Ausschlufs des *Juli*) zu *Ochozk* giebt Gmelin die mittlere Barometerhöhe daselbst zu . . . . 332‴,55 an. Nach einjährigen Beobachtungen an der SW.-Küste von *Kamtschatka* zu *Bolscherezk* aber nimmt er als mittleren Barometerstand an der Küste dieses Ortes sogar nur: 330‴,50.

Fernere Bestätigungen dieser Thatsache erlaube ich mir gegenwärtig mitzutheilen.

3) Gelandet an der Westküste Kamtschatka's, erhielt ich die erste etwas länger fortgesetzte Reihe von Barometerablesungen in dem um 150 Fufs über dem Meeresniveau gelegenen Wohnorte von *Tigil*.

Ich sahe daselbst vom 16. bis zum 22. August das Barometer zwischen 330‴,03 und 331‴,24 sich bewegen, und, nach Hinzufügung von 30 anderen Ablesungen, die Hr. Capitain Sabjelow in den darauf folgenden Wochen an einem Instrumente machte, welches ich ihm, nach genauer Vergleichung mit dem meinigen, hinterliefs, erhält man 331‴,129 für den mittleren Luftdruck an den Tagen vom 16. *August* bis zum 3. *September* 1829. Namentlich oscillirte in dieser Zeit das Barometer zwischen 327‴,22 und 332‴,55. So weit nur reichen die bis jetzt

nahe gleichmäfsig vertheilten Extreme beobachtet zu haben, und die gegebene Approximation für den mittleren Barometerstand, welche das Mittel aus den beobachteten Extremen (331‴,56) noch um 0‴,53 übertrifft, wenigstens nicht für *zu niedrig* halten.

von Tigil mir zugekommenen Correspondenz-Nachrichten. Nach den Beobachtungen von 1828 zu *Peter-Paulshafen* zu urtheilen, ist das Mittel für die Wochen, welche unsere Beobachtungen umfassen, um 1''',112 *über* dem Jahresmittel zu erachten, und letzteres wäre daher für Tigil . . . . 330''',077
oder für einen *am Meere* der Westküste Kamtschatka's in 58°,0 Breite gelegenen Punkt . . . . . 331''',99;
freilich noch behaftet mit einer Unsicherheit von der Gröfse derjenigen Abweichungen, die zwischen Mitteln aus 20 Tagen in verschiedenen Jahren stattfinden können. Die unten beizubringende Erfahrung, dafs in entsprechenden Sommermonaten der Jahre 1828 und 1829 die Veränderungen des Luftdruckes auf Kamtschatka sehr übereinstimmend ausfielen dient indessen dazu, die erwähnte Unsicherheit bedeutend zu begränzen, und so viel ist wenigstens sicher, dafs unmöglich die ganze Differenz zwischen 331''',99 und 336 bis 338 (mittlerer Barometerstand an europäischen Küsten) auf Kosten einer Zufälligkeit für den damaligen habitus der Witterung zu Tigil zu rechnen sey, sondern dafs vielmehr ebenfalls am *Westufer* von Kamtschatka das Phänomen des verringerten Luftdruckes bis zum 58 Breitengrade ungestört sich erstrecke.

4) Ferner erhielt ich eine neue Beobachtungsreihe, welche zur nochmaligen quantitativen Prüfung der über den mittleren Luftdruck im *Peter-Paulshafen* früher mitgetheilten Angabe sehr geeignet ist. Es sind diefs namentlich die am Bord der Corvette Krotkoi, während ihres Vorankerliegens auf der *Awatschaer* Rhede, von vier zu vier Stunden an den Tagen vom 20. *Juli* bis 11. *October* des Jahres 1829 gemachten Barometerablesungen. — Das Dollond'sche mit Compafssuspension versehene Gefäfsbarometer, mit welchem diese Beobachtungen sowohl als sämmtliche am Bord des genannten Schiffes angestellten, und in der Folge von uns zu benutzenden, gemacht wurden, habe ich durch 66malige Vergleichung mit

mit einem vortrefflichen Heberbarometer (nach der Angabe von Hrn. Parrot, Vater, in dem mechanischen Institute des russischen Generalstabes angefertigt) berichtigt. Hr. Stanizki beobachtete 1828 zu den Stunden 18^h, 0^h und 10^h: um daher aus den Beobachtungen von 1829 Tagesmittel zu ziehen, welche den aus ersteren genommenen entsprächen, benutzten wir von den am Krotkoi eingehaltenen sechs Beobachtungsstunden nur die fünf folgenden 0^h, 8^h, 12^h, 16^h, 20^h, und zwar *so*, dafs wir

$$\text{ein Tagesmittel} = \frac{2(0^h)+(8^h)+(12^h)+(16^h)+(20^h)}{6}$$

setzten. Je fünf dieser Tagesmittel zu einem fünftägigen Mittel combinirend, für das Jahr 1829 sowohl als für die entsprechenden Zeiten des Jahres 1828, erhielt ich:

		1828. Stanizki.	1829 am *Krotkoi.*	
		S.	*K.*	*K—S.*
Juli	22.	335,172	335,613	+0,441
Juli	27.	335,994	336,449	+0,455
August	1.	334,165	334,780	+0,615
August	6.	332,989	335,875	+2,886
August	11.	335,349	336,610	+1,261
August	16.	334,673	335,894	+1,221
August	21.	335,491	336,214	+0,723
August	26.	335,386	335,036	—0,350
August	31.	333,980	336,461	+2,481
September	5.	335,017	334,690	—0,327
September	10.	335,138	334,698	—0,440
October	4.	333,429	333,142	— 0,287
October	9.	336,382	334,231	—2,151

Summe der positiven Differenz +10,083
Summe der negativen Differenz — 3,557

Gesammtsumme der Differenzen + 6,526

Mittel . . . . . . $K-S = +\ 0''',502$.

Hier, so wie im Folgenden, sind alle *Zeitangaben*

auf den *neuen* oder *Gregorianischen Kalender*, alle *Barometerangaben* auf 0° Temperatur des ☿ und auf alt-französisches Maafs reducirt. Das mittlere *S* ist aus 195, das mittlere *K* aber aus 325 Ablesungen erhalten.

Da das Gefäfs des Barometers am *Krotkoi* in der Ebene der Wasserlinie auf dem Schiffe, das Instrument von Hrn. Stanizki hingegen, wie ich mich aus eigener Ansicht seines Beobachtungslocales überzeugte, um nahe 35 Pariser Fufs über dem Wasserspiegel hing, so wären demnach die Angaben *S* des Jahres 1828 um 0''',422 zu vermehren, und es bliebe als Differenz der zwei zu vergleichenden Barometer nur $K - S = + 0''',080$. Zugleich aber ersieht man hieraus, dafs um die aus Hrn. Stanizki's Beobachtungen für den *mittleren Luftdruck* zu *Peter-Paulshafen* erhaltene Angabe auf den Meeresspiegel zu reduciren, sie um 0''',502 zu vergröfsern sey. — So ergiebt sich also für den Luftdruck an den Ufern des *Ochozker Meeres:*

Ostküste des Continent.	59°,3 N. *Breite*	bei *Ochozk*	332''',55
Westküste d. Halbinsel	58 ,0	- - - *Tigil*	331 ,99
Westküste d. Halbinsel	52 ,3	- - - *Bolscherezk* *)	330 ,50
Ostküste d. Halbinsel	52 ,6	- - - *Peter-Paulshafen*	334 ,06

Nachdem auf diese Weise das Phänomen für die Küsten des *Ochozker* Meeres vielfach genug bestätigt worden, suchte ich näheren Aufschlufs zu erlangen über die fernere Ausdehnung und Erstreckung des *mejonobarischen Bezirkes;* denn, bei unvollkommener Kenntnifs, die Erscheinung zu sehr als ein Absolutes betrachtend, glaubte ich anfangs der Kürze halber dieses Ausdruckes mich bedienen zu dürfen. — Ich ging nun dazu über, die so eben dargelegten Angaben über den Luft-

*) Zwar sagt Gmelin ausdrücklich: *Media altitudo Barometri ad mare hujus loci. Bolscherezk* liegt aber um 10,5 Meilen vom Meere entfernt, und ich möchte vermuthen, dafs bei der Reduction durch Rechnung, auf den *Meeresspiegel*, die Vergröfserung des Luftdruckes zu klein angenommen worden.

druck mit anderen zu vergleichen, die ich im Laufe meiner Reise für verschiedene Punkte der Erdoberfläche erlangt hatte, und zwar schien die widersprechende Verschiedenheit, die noch immer herrscht, zwischen den Angaben der Physiker über einen als normal zu betrachtenden Luftdruck an der *Meeresoberfläche* es wünschenswerth zu machen, dafs zunächst Angaben in Betrachtung gezogen würden, welche mit demselben Instrumente, das auf *Kamtschatka* zur Prüfung gedient hatte, an sehr verschiedenen Orten in offener See gewonnen worden waren. — Wenn ich mich daher im Folgenden zunächst ausschliefslich an den auf der *Corvette Krotkoi* gemachten Barometerablesungen gehalten habe, so geschah diefs theils aus den Gründen der Identität und genauen Berichtigung des angewandten Instrumentes, so wie der musterhaften Pünktlichkeit, mit welcher die Beobachtungen unter unermüdlicher Aufsicht des Hrn. Capitain v. Hagemeister angestellt wurden, theils auch, weil es mir im Allgemeinen sehr wichtig erscheint, bei meteorologischen Fragen vorzugsweise *solche* Gegenden und Klimate der Betrachtung zu unterwerfen, die uns aus Autopsie bekannt sind, und für welche man daher aufser den zu erwägenden Zahlenangaben auch die oft eben so wichtige Kenntnifs des meteorologischen Habitus besitzt. Vielleicht wird diese individuelle Ansicht von Demjenigen eher gebilliget werden, der es oftmals erfahren hat, wie ganz anders die über besondere meteorologische Gegenstände von ihm gefafste Ansicht ausfiel, je nachdem er sie früher nur aus den Zahlenangaben Anderer, oder späterhin aus eigener Anschauung und Erleben kennen lernte; um wenigstens *einer* der in dieser Beziehung von mir gemachten Erfahrungen zu gedenken, erwähne ich nur, wie selbst in den tropischen Meeren, welche durch die Constanz ihrer meteorologischen Verhältnisse so höchst ausgezeichnet sind, oft die Annäherung an eine unbedeutend scheinende niedrige Coralleninsel den nor-

malen Lauf der Witterung, ja den Passat selbst unterbrach, und wie in ähnlichen Fällen ein Berechner, der nur an die Zahlenangaben eines Seefahrers sich halten könnte, von den aus eigenem Erleben ihm nicht bekanntes Phänomenen dieser Gegenden die falscheste Ansicht erlangen würde.

Um den Luftdruck auf offener See zunächst für solche Gegenden zu untersuchen, für welche die jährliche Periodicität meteorologischer Erscheinungen am meisten sich bewährt, und für die daher auch kürzere Beobachtungsreihen ein befriedigendes Resultat versprechen, wählte ich die *Passat-Regionen.*

Es sind die, während der achtmaligen vollständigen Durchgänge des mehrerwähnten Schiffes durch diese Regionen gewonnenen Werthe des Luftdruckes, die ich im Folgenden zusammengestellt habe. Nächst den oben über die Reduction der Originalbeobachtungen gegebenen Notizen, bemerke ich hier nur noch, dafs aus den Resultaten für die *mittleren täglichen Stände* zunächst unter allen in einem der betrachteten Bezirke vorkommenden, der *gröfseste* und der *kleinste* ausgesucht, und mit Angabe der Breite in welcher er beobachtet ist, und Hinzufügung der Worte *Maximum* oder *Minimum* in den einzelnen Spalten der beigefügten Tafel I angegeben wurde. Diese Angaben zeigen also für einen jeden Bezirk diejenigen extremen Stände, welche in demselben während wenigstens 24 Stunden herrschend gefunden wurden. — Sodann aber wurden aus der Reihe der täglichen *Mittel* je *fünf* combinirt zu einem *fünftägigen Mittel,* und zwar *so,* dafs diese letzteren gültig wurden für Orte, die um 3 bis 5 Breitengraden von einander entfernt sind. Eine jede der angegebenen Zahlen ist also (bei 6maligen Beobachtungen im Laufe des Tages) ein Mittel aus 30 einzelnen Ablesungen.

Um unserem gegenwärtigen Zwecke gemäfs, die Betrachtung des Luftdruckes streng und ausschliefslich auf

die *Passat-Regionen* zu beschränken, befolgte ich stets die von erfahrenen Seeleuten mir als bewährt angegebene Regel: den Passat nur dann als eingetreten und nur so lange als herrschend zu betrachten, als durchaus kein Wind aus dem *westlichen* Viertel des Horizontes wehte. Die auf diese Art für die jedesmalige Ausdehnung nach der Breite der einzelnen Passat-Zonen gewonnenen und im Folgenden (Tafel I) beigefügten Angaben, zeigen, daſs wirklich auf diesem Wege ein richtiges Kriterium für die Reinheit und Andauer des Phänomens gewonnen sey; denn daſs, ungeachtet sehr verschiedener Breite der sie *trennenden* Bezirke, die Summe der Breitenausdehnung je zweier auf einerlei Meridian in den beiden Halbkugeln gelegenen Passat-Regionen sich jedesmal so nahe gleich der *doppelten Schiefe der Ekliptik* ergab, ist offenbar ein Beweis für die naturgemäſse Auffassung der Sache. — Sobald inmitten einer der Passat-Regionen, durch Nähe des Landes bewirkt, Westwind sich einstellte, wurde eine Lücke in der Betrachtung des Luftdruckes gelassen, und der Passat als unterbrochen angenommen. — Mehrere aus Erwägung der in Tafel I zusammengestellten Zahlen sich ergebende Resultate für jetzt übergehend, hebe ich nur Folgendes, als zu unserem dermaligen Zwecke direkt gehörig, hervor.

Da für eine jede der vier Längen-Zonen (welche wir in der Tafel I zusammengestellt, und deren jede wir durch den Namen eines in ihr gelegenen Landstrichs näher charakterisirt haben) in der einen Hemisphäre während des Sommers, in der anderen aber während des Winters beobachtet wurde, so ist eine Mittelzahl aus allen, während eines doppelten Passatdurchganges (durch die NO. und SO.-Region), erhaltenen Gröſsen des Luftdruckes einem *Jahresmittel* gleich zu erachten, sofern man sich einstweilen erlauben darf, zwischen beiden Erdhalbkugeln etwa stattfindende Differenzen zu übersehen. Nun zeigt sich zwischen denen auf diesem Wege für die

vier einzelnen Districte der Passat-Zone erhaltenen *Werthen des Luftdruckes*, ein sehr bedeutender Unterschied, und man sieht, dafs, ihrer Gröfse nach geordnet, die auf verschiedene Meridiane bezüglichen Resultate also folgen:

I. die *Kamtschatische* mit $\frac{336',941+338',182}{2}=337',562$

II. die *Kap Verdische* mit $\frac{338',502+338',219}{2}=338',360$

III. die *Panamische* mit $\frac{338',926+338',015}{2}=338',470$

(II. und III. durch Klammern zusammengefasst)

IV. die *Azorische* mit $\frac{339',432+339',021}{2}=339',226$

Von 338''',404, dem Mittel aus den Resultaten I bis IV, weichen die einzelnen ab:

I.	um	−0''',842
II.	um	−0 ,044
III.	um	+0 ,066
IV.	um	+0 ,822

und es liegt hierin die eben so unerwartete als wichtige Nachweisung: *dafs, in den Passat-Zonen, ein Maximum des Luftdruckes unter den Azorischen Meridianen stattfindet, und dafs von dort aus gegen Osten sowohl als gegen Westen abnehmende Barometerstände gefunden werden, bis man ein Minimum des Luftdrukkes auf den Kamtschatischen Meridianen erreicht.*

Die Ungleichheit des Luftdruckes erscheint also als ein weit allgemeineres Phänomen, als wir anfangs zu glauben berechtigt waren, und von einem *mejonobarischen Bezirke*, mit Bezug auf das Ochozker Meer, zu reden, wäre nun eben so unrichtig, als von einem *meizonobarischen (dem Azorischen) Meridiane*, oder von einer *mejonothermischen* Anomalie mit Bezug auf *Sibirien*, oder *Nord-Ost-Amerika*. Vielmehr zeigt sich der Luftdruck hier eben so sehr und auf ähnliche Art als Function der

Länge der Orte, als wir es nunmehr wissen von dem *thermischen Klima*, und ganz besonders von den *magnetischen Phänomenen*. Nicht von einzelnen Anomalien kann nunmehr die Rede seyn, sondern es handelt sich um nähere Feststellung einer offenbar vorhandenen allgemeinen Gesetzmäfsigkeit um Aufsuchung, der *geometrischen Orte gleiches Luftdruckes* (*isobarische Linien*). — Ich bemerke nur noch, dafs der relativ höchste Barometerstand in der Passat-Zone unter dem Azorischen Meridian, sich von dort aus auch gegen Norden erstreckt, und zwar zunächst nach *Gran Canaria*, wo Hr. von Buch eine damals sehr auffallend erscheinende mittlere Barometerhöhe von mehr als 339 Linien beobachtete.

Sollte es daher zu gewagt seyn, wenn wir den relativ niedrigen Luftdruck am *Ochozkischen Meere* in ähnlichem Zusammenhange uns denken mit dem auf einerlei Meridian ihm entsprechenden der *Kamtschatischen Passat-Region?*

Es blieb nun aber zunächst zu wünschen übrig, dafs ermittelt werde, wie und auf welche Art der Uebergang geschähe von dem zwar kleinen Luftdruck der *Kamtschatischen Passat-Region* zu dem dennoch um noch 2‴ bis 4‴ kleineren unter den Breiten 52° bis 60° derselben Längenzone.

Diese ist eine ungleich schwerer zu lösende Frage als die bisherigen, denn da es hier von Gegenden sich handelt, in denen, an die Stelle der tropischen Constanz meteorologischer Verhältnisse, die in hohen Breiten bekannte Veränderlichkeit getreten ist, so kann ein einmaliges Durchreisen nur weit unsichere Resultate, vielleicht nur vorläufige Andeutungen, nicht definitive Bestimmungen geben. Um wenigstens jene ersteren schon jetzt zu erlangen, habe ich, ganz auf die oben erwähnte Art, aus je dreifsig der vierstündigen Messungen des Luftdruckes am Bord der *Corvette Krotkoi*, *fünftägige Mittel* gebildet für denjenigen Theil der Reise, der auf den *Kamt-*

schatischen Meridianen die Parallelkreise von 25° bis 52° nördlicher Breite durchschnitt, und zu ihnen hinzugefügt ähnliche Reihen für die übrigen mehr erwähnten vier Längenzonen der nördlichen Halbkugel der Erde. Dabei wurde wiederum die Anordnung getroffen, dafs die einzelnen aus dreifsig Ablesungen erhaltenen Angaben für den Luftdruck, auf Orte sich bezögen die in einerlei Längenzone um 3 bis 5 Grade der Breite von einander entfernt wären. — Die vier verschiedenen Durchschnitts-Reisen sind in theils unter sich gleichen, theils verschiedenen Jahreszeiten ausgeführt, es stand aber zu hoffen, dafs der vom *Sonnenstande* (*Jahreszeit*) herrührende Einflufs sich von anderweitig bedingten Differenzen würde trennen lassen, und so blieben denn, aufser der eigentlich gesuchten *Abhängigkeit des Luftdruckes von der geographischen Lage* der Orte, als etwa störend nur noch die nicht periodisch wiederkehrenden sogenannten Unregelmäfsigkeiten des Witterungslaufes übrig.

Aus der auf die eben angegebene Weise gemachten Zusammenstellung von Barometerbeobachtungen in der Tafel II ersieht man nun mit auffallender Bestimmtheit, wie sogar, trotz Verschiedenheit der Jahreszeiten, die von der *Länge der Orte* abhängige Differenz des *Luftdruckes* sich in höheren Breiten wiederum eben so gestaltet hat, als für die Passat-Regionen es früher gefunden wurde.

Wiederum zeigte sich auch hier auf den *Azorischen Meridianen* der *gröfste*, auf den *Kamtschatischen* aber der kleinste *Luftdruck*. Die Ergebnisse für die zwei übrigen der betrachteten Längenzonen haben wiederum eine mittlere Gröfse.

Für den *Cap Verdischen* Meridian habe ich die Angaben nicht bis zu höheren Breiten fortsetzen können, weil bei der Ausfahrt aus *Europa* die Barometerablesungen erst in 48° Nord-Breite begonnen wurden; für den *Azorischen* aber defswegen nicht, weil von der letz-

ten der angegebenen Stationen aus, wir nun schnell gegen Osten der Einfahrt in den Kanal uns näherten. Aeufserst heftige *West*-Winde, welche das Schiff von dort aus bis nach *Portsmouth* begleiteten, fanden eine genügende Erklärung darin, dafs in diesen Tagen über dem *Kanal* ein Minimum des Luftdruckes herrschte, welches dann natürlich ein um so heftigeres Zuströmen von Westen her bewirken mufste, da auf dem angränzenden Ocean die unteren Luftschichten unter so hohem Drucke stehen.

Man sieht indessen, dafs, trotz der etwas verschiedenen Breitenerstreckung der einzelnen hier betrachteten Zonen, das für eine jede derselben erhaltene Gesammtmittel des Luftdruckes dennoch nahe genug ein und demselben Breitengrade entspricht, so dafs man die Vergleichung dieser Mittelwerthe, behufs Auffindung des von der Länge allein ausgeübten Einflusses, dennoch vornehmen kann. — Diese Gesammtmittel, ihrer Gröfse nach geordnet, folgen sich aber also:

I. das *Kamtschatische*
mit 336''',210 gült. f. *Juli* 9. 1829 u. 41°,2 N. Br.

II. das *Sitcha-Panamische*
mit 336''',554 gült. f. Nov. 29. 1829 u. 41°,9 N. Br.

III. das *Kap Verdische*
mit 338''',608 gült. f. *Nov.* 5. 1828 u. 37°,7 N. Br.

IV. das *Azorische*
mit 339''',554 gült. f. *Aug.* 16. 1830 u. 39°,4 N. Br.

so dafs für die Breite von 40° in der Nord-Halbkugel der Erde wiederum dieselbe Ordnung der Meridiane, in Bezug auf Gröfse des Luftdruckes, sich zeigen würde wie in den *Passat-Regionen.* Es sind aber die hier gemachten Angaben noch behaftet mit dem erhöhenden oder erniedrigenden Einflusse der jedesmaligen Jahreszeiten, und von diesem müssen sie befreit werden, bevor ein Urtheil über das Quantitative dieses Verhaltens uns zusteht. Um diese Reduction für den *Einflufs der Jahreszeiten* oder die Erlangung eines Jahresmittels zu

bewerkstelligen, stehen mir jetzt nur in Bezug auf die zwei ersten *Längenzonen* die nöthigen Elemente zu Gebote. Es sind diefs für die erste Zone die oben erwähnten Beobachtungen von Hrn. Stanizki zu *Peter-Paulshafen*, für die *zweite* aber ein Jahrgang von Barometerablesungen, welche an einem vortrefflichen Instrumente zu *Neu-Archangelsk* auf der Insel *Sitcha* gemacht und mir handschriftlich mitgetheilt wurden. — Bezeichnet man mit *M* das jedesmal gesuchte *Jahresmittel für den Ort*, mit dem in Klammern eingeschlossenen Datum aber die diesem Tage entsprechende mittlere Barometerhöhe, so ergiebt sich für die

Zone I. $M'-($*Juli* 9.$)=+0''',136$
Zone II. $M''-($*Nov.* 29.$)=+1''',534$

und man erhält als Jahresmittel für den Luftdruck unter dem 40sten Breitengrade:

Zone	I.	$336''',346$	die *Kamtschatische*
-	II.	$338\ ,088$	die *Sitcha-Panam.* }
-	III.	$338\ ,608+M'''-($*Nov.* 5.$)$	die *Kap Verdische* }
-	IV.	$339\ .554+M''''-($*Aug.* 16.$)$	die *Azorische.*

Betreffend die Reductionen der Werthe III und IV, so ersieht man aus einigen Andeutungen, die Hr. von Buch über *monatliche* Veränderungen des Luftdruckes auf den Canarischen Inseln gemacht hat (*Physik. Beschr. der Canar. Inseln S.* 72.), dafs III dem Mittel sehr nahe zu erachten, d. h. $M'''-($*Nov.* 5.$)$ nahe $=0$, IV aber ein wenig über dem Mittel erhoben, d. h. $M''''-($*Aug.* 16.$)$ eine *geringe negative* Correction ist, so dafs dadurch die, in Bezug auf die Gröfse des Luftdrukkes, auch in 40° Breite wahrgenommene Ordnung der Meridiane in Nichts gestört wird. — Die für *Peter-Paulshafen* und *Sitcha* auf die Jahreszeiten bezüglichen Correctionselemente auch auf die zwei anderen Längenzonen anwenden zu wollen, wäre übrigens offenbar falsch, denn, wie ich bei ausführlicherer Darstellung des meteorologischen Theiles meines Reiseberichtes zu zeigen hoffe, ist

der Gang der monatlichen Veränderungen des Luftdrukkes an der *Westküste von Nord-Amerika* und an der *Ostküste von Nord-Asien* unter sich nahe übereinstimmend, weicht aber an beiden Stellen auf eine sehr erhebliche Weise ab von dem Gange der an *Europäischen Orten mittlerer Breite* beobachteten Barometer-Veränderungen. (Man vergleiche schon jetzt die monatlischen Barometerstände für *Peter-Paulshafen*, diese *Annalen*, *Bd.* 93 *S.* 337.)

Durch die bisherigen Zahlenangaben hoffe ich die regelmäfsige Abhängigkeit des auf offener See und an Küstenorten stattfindenden Luftdruckes, von der Länge der Orte, auf eine überzeugende Weise dargethan zu haben, und es bleibt zunächst nur noch zu bemerken übrig, wie in den Längenzonen I und II gleichzeitig eine mit *zunehmender Breite* stattfindende *Abnahme des Luftdruckes* sich ergiebt.

Es war namentlich in der Zone von *Kamtschatka*

im Passate der Luftdruck	=337''',562
in 40° nördlicher Breite	=336 ,346.

Eben so in der *Sitcha-Panamischen* Zone

im Passate	=338''',470
in 40° nördlicher Breite	=338 ,088

so dafs eine Abnahme der Barometerhöhen vom Passate bis 40° Breite in beiden Längenzonen bemerkbar, dieselbe aber in der *Kamtschatischen* etwas stärker erscheint als in der *Panamischen*. In Breiten, die höher als 40° sind, scheint die Abnahme noch schneller vor sich zu gehen, so dafs die Veränderung des Luftdruckes etwa für proportional den Sinussen der Breite, oder gewissen ganzen Potenzen derselben zu halten wäre.

Namentlich sieht man diese stärker werdende Abnahme, wenn man für die *Kamtschatische Zone* den Luftdruck

in 52°,6 nördlicher Breite	334''',06 }
so wie in 58 ,0	331 ,99 }
vergleicht mit dem im *Passate*	337 ,56.

Ein analoges Ergebnifs für den Meridian der *Nordwestküste von Amerika* lieferte mir der Jahrgang von Barometerablesungen zu *Neu-Archangelsk auf Sitcha.* Ich behalte mir vor, die anderweitig aus ihm zu ziehenden Resultate bei einer anderen Gelegenheit mitzutheilen, und erwähne jetzt nur, dafs für diesen Ort, nach Reduction des Beobachteten auf den Spiegel des Meeres, ich für das Jahresmittel des daselbst herrschenden Luftdruckes . . . . 334''',90 erhielt.

Dieses neue Datum ist unter zwei Gesichtspunkten wichtig für uns, indem es:

1) eine höchst sichere und directe Bestätigung der Thatsache wird, dafs bei Gleichheit der Breite, auf Meridianen, die um etwa 60° östlich von den *Kamtschatischen* liegen, die Barometerhöhen zwar *kleiner* sind als an Europäischen Orten von derselben Breite, jedoch *gröfser* als für die auf *Kamtschatka* selbst ihnen entsprechenden Punkte.

Man vergleiche nur

334''',90 für 57°,0 N. Br. d. *Sitcha-Panamischen* Zone

mit dem nach obigen Angaben für das Ochozker Meer ihm entsprechenden

332''',37 für 57°,0 N. Br. der *Kamtschatischen* Zone;

2) aber wiederum zeigt von einer, bei Gleichheit der geographischen *Länge,* mit *zunehmender Breite* stattfindenden *Abnahme des Luftdruckes.* Namentlich sehen wir in der *Sitcha-Panamischen Zone*

vom Passate bis zu 57°,0 N. Br. den

Luftdrucke abnehmen um . . 4''',03 Quecksilber.

Für entsprechenden Breitenunterschied

in der Kamtschatischen Zone aber

beträgt diese Abnahme . . . . 5''',19 Quecksilber.

Die hier mitgetheilten summarischen Auszüge aus den sehr zahlreichen Beobachtungen über den Luftdruck, die ich besitze, mögen vorläufig beweisen, dafs ein Phänomen, welches man, abgesehen von örtlichen Zufälligkei-

ten, für nahe constant an verschiedenen Orten der Erdoberfläche ansahe, sich als höchst stark variirend, und zwar nach einer sehr bestimmten Gesetzmäfsigkeit gezeigt hat. — Ich behalte mir eine baldige weitere Ausführung dieses Gegenstandes vor, und bemerke jetzt nur noch, dafs auch für den *meizonobarischen* und die zunächst östlich von ihm gelegenen Meridiane es bereits an Andeutungen über *Abnahme des Luftdrucks bei wachsender Breite* nicht fehle, so dafs auch in dieser Beziehung über beiden Oceanen der Erde eine gleichartige Abhängigkeit des Luftdruckes von den Coordinaten der Orte stattzufinden scheint. Man vergleiche nur die von der Mehrzahl der Physiker für Europäische Küstenorte des 52sten bis 55sten Breitengrades für den Luftdruck gemachten Angaben von 336‴ bis 337‴, mit der in den Aequatorialgegenden ihr entsprechenden von 338‴,6 bis 339‴ *), und erinnere sich ferner der niedrigen Barometerstände, die Hr. v. Buch an den Norwegischen Küsten zuerst bemerkt hat, und die spätere Beobachter für *Island* und, wie es scheint, auch für *Grönland* bestätigt haben. — Ich kann dieser letzteren Klasse von Erscheinungen über *niedrige Barometerstände in hohen Breiten* jetzt noch hinzufügen, dafs, nach Beobachtungen, die zu *Archangel*

*) Hierher zu rechnen, und nur dadurch erklärlich, ist auch vielleicht ein sonderbares Ereignifs in der Geschichte der zu Berlin angestellten meteorologischen Beobachtungen. Versehen mit Pistor'schen Instrumenten, die *absolute* Bestimmungen zu geben geeignet sind, findet Hr. Mädler aus 10 Mal täglichen Barometerablesungen zu *Berlin*, in den Jahren 1825 und 1826, für einen um 20 Fufs über der Spree erhobenen Ort 337‴,020 als mittleren Luftdruck. Während doch nach neuester Berechnung (durch Hrn. Pr. v. Riese, zu Bonn) der an Nord- und Ostsee ebenfalls mit Pistor'schen Instrumenten angestellten Beobachtungen der mittlere Luftdruck im Niveau dieser Wasserbecken zu 337‴,008 sich fand. Die *Spree* bei Berlin würde um 21 Pariser Fufs unter dem Nord- und Ostsee-Niveau liegen, wenn nicht eine bei wachsender Breite stark abnehmende Gröfse des Luftdruckes das Verhältnifs erklärte.

in den Jahren 1810 und 1811, sodann aber wiederum in den Jahren von 1822 bis 1826 angestellt wurden, für diesen Ort der Luftdruck so bedeutend *unter dem* an Küstenorten *mittlerer Breiten* in Europa wahrgenommenen sich ergab *), daſs wiederum an eine Zufälligkeit der ganzen Differenz durchaus nicht gedacht werden darf. Ich hoffe indessen in der Folge ausmachen zu können, ob vielleicht ein Theil derselben einem constanten Fehler der angewandten Instrumente zuzuschreiben sey, und verschiebe bis dahin die Mittheilung der hierauf bezüglichen Zahlen.

Für die Meere der Südhalbkugel ergiebt sich, sofern wir unsere darauf bezüglichen Beobachtungen bereits erwogen haben, eine wenigstens eben so starke Abnahme des Luftdrucks bei wachsender Breite als für die nördliche Halbkugel.

Wie das regelmäſsige Verhalten des Luftdruckes, welches ich hier nur für das *offene Meer* und für *einige Küstenorte* angedeutet habe, in das Innere der Continente hinein sich fortsetze, soll ebenfalls der Gegenstand einer künftigen Untersuchung seyn; für jetzt bemerke ich nur, daſs gewisse Anomalien des Phänomens bereits vorausgesehen werden, daſs dieselben aber von einer ganz gleichen Ordnung sind mit den Ausnahmen von der Norm *isothermischer Verhältnisse,* die man in einzelnen Gegenden der Erde bereits gefunden hat, und die in der Folge noch weit häufiger nachgewiesen werden dürften.

So viel hoffe ich schon jetzt, durch Mittheilung gegenwärtiger Uebersicht dargethan zu haben, daſs nicht, wie noch in der neuesten Zeit einige Physiker behaupten, der Grund des Differenzen der Luftdruckes in einer Verschiedenheit der Meeres-Niveaus zu suchen sey, denn, nach Auffindung eines sehr regelmäſsigen Abhän-

*) *Topographitscheskoe Opissánie Góroda Archángilska Dóktorom Richterom,* d. h. Topographische Beschreibung von Archangelsk.

gigkeitsverhältnisses des Barometerstandes von den Coordinaten der Beobachtungsorte, möchte wohl an diesem sich zu halten rathsamer seyn, als, zwischen dem *Niveau des Atlantischen Meeres unter den Tropen* und dem des *Ochozkischen Meeres* bei *Bolscherezk*, eine Höhendifferenz anzunehmen von 679 Par. Fuſsen; zu geschweigen, daſs ähnliche Unterschiede dann auch für Meeresstellen anzunehmen wären, welche noch weit directer mit einander communiciren. — Ich gestehe sogar auch vom theoretischen Standpunkte es für unwahrscheinlich zu halten, daſs, könnten zwischen *communicirenden* Meeren Unterschiede ihrer Niveaus, d. h. Verschiedenheiten ihres Abstandes vom Erd-Mittelpunkte stattfinden, dieselben am Barometer sich aussprechen würden, indem dieselben Ursachen, welche, mit Bezug auf die tropfbarflüssige Wasserhülle, stätig in einander übergehende Abweichung der Gestalt von einer anfänglich postulirten mathematischen Regelmäſsigkeit zu bewirken vermöchten, höchst wahrscheinlich auch auf die elastisch-flüssige Lufthülle einen ähnlichen Einfluſs ausüben würden. — Nur wenn man annähme, daſs, die Einwirkung der Schwere überwindende Ursachen, an gewissen Stellen wahre *Wasserberge* auf den Meeren aufgehäuft hätten, möchte deren Existenz am Barometer sich erkennen lassen; daſs aber dergleichen discontinuirliche Anhäufungen des Flüssigen bis zu 679 Par. F. Höhe ansteigen, möchte man wohl schwerlich zuzugeben geneigt seyn.

Obgleich nicht direct auf den Hauptgegenstand gegenwärtiger Zeilen bezüglich, bemerken wir noch ein zweites sehr interessantes Ergebniſs der in Tafel I gemachten Zusammenstellung von Barometerständen.

Es zeigt sich nämlich aus jeder einzelnen Spalte dieser Tafel, wie innerhalb eines jeden der betrachteten Bezirke der Passat-Zonen der Luftdruck stets gröſser ist an der Polargränze derselben, als an ihrer Aequatorialgränze.

Diesen Gränzen nahe liegen die jedesmal beobachteten extremen täglichen Stände:

das *Maximum* nahe der *gröſsten* } der überhaupt in einem solchen Bezirke vorkommenden Breiten.
das *Minimum* nahe der *kleinsten* }

Der Unterschied zwischen diesen Extremen des Luftdruckes beträgt im Mittel aus acht Bestimmungen 2''',334. — Bei weitem kleiner, und nur =0''',929, wurde er nur einmal in dem *Panamischen NO.-Passate* beobachtet, und dennoch war daselbst der Wind nicht minder frisch als gewöhnlich, denn dem betroffenen individuellen Schiffe ertheilte auch er den im Passate gewöhnlich beobachteten Gang von 6,5 Knoten bei *Halfwind.* Sehr zu bemerken ist indessen, in Bezug auf diese anscheinende Anomalie, wie der in Rede stehende Passat-Bezirk der schmalste aller von uns durchschnittenen war, und wie, im tiefsten Winter beobachtet, das Phänomen an seiner nördlichen Gränze im Erlöschen gefunden wurde. Wirklich zeigt sich aus der hierher gehörigen zweiten Spalte der II. Tafel, wie in *dieser* Längenzone ein noch wachsender Luftdruck nördlich vom eigentlichen Passat-Bezirke beobachtet wurde, ein Umstand, der sonst sehr selten vorkommen möchte, und wie also an Stellen, wo einige Wochen vorher der Passat wirklich geherrscht, jetzt aber aufgehört hatte, der Luftdruck noch dem früheren Verhalten gemäſs gefunden wurde.

So erscheint als eine eben so interessante als bestimmte Erfahrung, in Bezug auf die Passat-Zonen der Erde, *daſs in ihnen ein äuſserst regelmäſsiges Abnehmen des Luftdruckes stattfinde, von der Gegend an, wo der Wind beginnt, bis zu der, wo er zu wehen aufhört*

T a-

(Zu Seite 144 gehörig.)

ssat-Regionen.

antischer Ocean.

Meridia… (Länge i…en. …mmer 1830.) Datum.	Bar. b. 0° R.	Meridian des Cap Verd. (Länge im Mittel: 340° Winter 1828.) Datum.	Breite.	Länge.	Bar. b. 0° R.
Mai 30.	338''',427	Nov. 2.	+ 6°,0	339°,3	337''',865
Juni 4.	338 ,722	Nov. 29. 5	+ 9 ,0	338 ,0	337 ,775

Ka…

Datum.	…Meridian. …änge.	Luftdr. b. 0°. in P. Maafs.	Cap Verdischer Meridian. Datum.	Breite.	Länge.	Luftdr. bei 0° in P. M
			Nov. 10.	29°,5	345°,0	338''',404
Juni 30.						
	9°,6	339''',981				
Juli 2.						
	8 ,4	340 ,491	Nov. 7.	34 ,2	344 ,4	337 ,242
Juli 4.						
Juli 7.	3°,9	339 ,469	Nov. 4.	38 ,5	341 ,5	336 ,860
Juli 12.			Oct. 31.	40 ,6	345 ,5	340 ,095
	0 ,0	338 ,510				
Juli 16.			Oct. 28.	45 ,6	350 ,0	340 ,444
	2 ,0	339 ,126				
Juli 20.						

Mitte… gewonn…	*…Meridian,* …2 Ablesungen.		*Mittel für diesen Meridian,* gewonnen aus: 114 Ablesungen.			
Juli 9.	6°,8	339''',554	Nov. 16.	37°,7	345°,3	338''',608

Nachtrag.

Die zufällige örtliche Beziehung, in welche vorstehende Zeilen zu einer anderweitigen Angabe über den *mittleren Luftdruck für die Insel Sitcha* (vergleiche *gegenwärtigen Band der Annalen, S.* 118) getreten sind, nöthigt mich, schon jetzt einiges nähere Detail über die von mir für diesen Theil der Erde benutzten Beobachtungen beizubringen, — Durch die Güte des Hrn. Capitain Tschistjakoff, damaligen *Gouverneurs der Russisch-Amerikanischen Compagniebesitzungen*, wurden mir von, auf *Sitcha* bezüglichen, meteorologischen Beobachtungsjournalen zur Abschrift mitgetheilt:

1) Für das Jahr 1828 ein Verzeichnifs der in jedem Monat beobachteten barometrischen und thermometrischen Maxima und Minima, so wie der gleichzeitigen anderweitigen Witterungsumstände.

2) Aber für das Jahr 1829 ein bis inclusive *October* reichendes Journal von Ablesungen der meteorologischen Instrumente, die drei Mal täglich, zu den Stunden 18^h, 0^h und 6^h unter Hinzufügung der Windesrichtungen und anderweitigen Witterungsumständen aufgezeichnet worden.

Die erstere Reihe ist es, welche Hr. Capitain Lütke an Hrn. Prof. Kupffer mittheilte. Der auf S. 118 befindliche Abdruck derselben ist durchaus übereinstimmend mit der Abschrift der Originalpapiere, die ich zu *Neu-Archangelsk* genommen habe; es dürfen aber weder diese Angaben, noch auch die unter 2tens erwähnten so unmittelbar angewendet werden, wie Hr. Prof. Kupffer es gethan hat, vielmehr ist, wegen der mir aus eigener Ansicht bekannten erhöhten Aufhängung des Instrumentes, um seine Angaben auf die Meeresfläche zu reduciren, eine Correction $+0''{,}7$ Par. Maafs zu ihnen hinzuzufügen.

Zur leichteren Vergleichung mit den auf S. 118 be-

findlichen Zahlen gebe ich zuerst für das Jahr 1829 die monatlichen Mittel, ebenfalls in Engl. Maafse ausgedrückt und auf die Monate, nach altem Styl sich beziehend, an:

Januar	$29^p,606$	Juli	$30^p,064$	
Februar	29 ,663	Aug.	29 ,905	
März	29 ,717	Sept.	29 ,811	
April	29 ,787	Oct.	29 ,712	
Mai	29 ,845	Nov.	(29 ,667)	*interpolirt*
Juni	29 ,899	Dec.	(29 ,627)	

Man ersieht, dafs diese, aus drei Mal täglichen Beobachtungen gezogenen, Angaben die Mittel aus den monatlichen Extremen fast durchgängig um ein nicht Unbeträchtliches übertreffen, ein Umstand der nicht auffallend ist, wenn man weifs, wie auf dieser Insel die Minima des Luftdruckes, bei äufserst heftigen Stürmen eintretend, ungleich kürzere Zeit sich herrschend erhalten, als die Maxima. — Für den *auf den Aufhängungsort des Barometers zu Neu-Archangelsk* sich beziehenden mittleren jährlichen Luftdruck erhält man aus Vorstehendem $29^p,775$, während die Erwägung der Extreme nur 29 ,680 giebt.

$29^p,775$ Engl. bei $+14°$ R. beobachtet, geben auf 0° Temp. des ☿ und Pariser Maafs reducirt . . 334''',20 oder nach Hinzufügung der angedeuteten Reduction auf den Meeresspiegel . . . . 334''',90, wie wir oben S. 140 angegeben haben, aber um 1''',78 höher als die Annahme von Hrn. Prof. Kupffer (S. 118). — Ich halte es für äufserst wahrscheinlich, dafs auch für den Beobachtungsort auf *Unalaschka* eine ähnliche Reduction auf den Meeresspiegel nöthig ist, als die für *Neu-Archangelsk* erforderliche, und es wäre sehr wünschenswerth, dafs Hr. Capitain Lütke das ihm hierüber aus eigener Ansicht Bekannte und zur Nutzbarmachung der Beobachtungen durchaus Erforderliche mittheilte. Schliefslich bemerke ich noch, dafs für die Breite des Beobach-

tungsortes auf *Sitcha* anstatt 54° ¾, wie sie Hr. Kupffer angiebt (S. 117), 57°,05 zu setzen ist. — Was ich über die *Temperaturverhältnisse* dieses Orts besitze, ziehe ich vor, einem vollständigeren meteorologischen Reiseberichte aufzubehalten, in welchem es mit mehreren gleichartigen Zahlenbestimmungen für *Nord-Asien* in die nöthige Verbindung gesetzt werden kann. — Die allzu eilige Benutzung *isolirter* Ergebnisse erscheint mir um so gefährlicher für die Meteorologie, je mehr es sich zeigt, dafs auch in dieser Wissenschaft allgemeine Functionsverhältnisse, und nicht örtliche Besonderheiten das zu Erkennende seyen.

IX. *Ueber einen neuen, das Leuchten der Ostsee bedingenden, lebenden Körper; beobachtet von C. G. Ehrenberg.*

Das herrliche und wunderbare Leuchten des Meeres ist seit langer Zeit ein Gegenstand der Aufmerksamkeit wissenschaftlicher Forschung gewesen. Physiker und Naturforscher haben häufig diese Erscheinung zu verfolgen und zu erklären gesucht. In der neuesten Zeit hat sich dadurch die Kenntnifs so festgestellt, dafs nicht eine einfache Kraft der Erscheinung zum Grunde liege, sondern verschiedenartige Verhältnisse dieselbe bedingen. Besonders hat es sich begründet, dafs das Leuchten mit kleinen hellen Lichtfunken durch grofse Mengen eigener kleiner Leuchtthiere hervorgebracht werde, auch ist deren Verzeichnifs schon entworfen und zusammengestellt worden; allein häufig fehlt es an einer genauen naturhistorischen Bestimmung derselben.

An der libyschen Küste des Mittelmeeres und bei meiner, fast ein Jahr langen Schifffahrt auf dem rothen Meere,

habe ich vielfach Gelegenheit genommen, auch in jenen südlichen Gegenden über das Leuchten Beobachtungen zu sammeln, und ich habe die Absicht, diese späterhin speciell mitzutheilen. Hier will ich nur einen kleinen Beitrag zur Kenntnifs der europäischen Leuchtthiere des Meeres geben, den eine Untersuchung mir eben jetzt eingebracht hat.

Ich hatte nämlich, auf Veranlassung der interessanten kleinen Schrift, welche Hr. Dr. Michaelis der Versammlung der deutschen Naturforscher im Jahre 1830 zu Hamburg vorlegte, und worin er, neben einer zahlreichen Reihe bestätigender Erfahrungen, besonders zu dem Resultat gekommen war, dafs bei Kiel das Leuchten des Meeres nur durch lebende Leucht-Infusorien bedingt werde, deren einige er einzeln sorgfältig aufgefangen, abgebildet und benannt hat, den geehrten Hrn. Verfasser schriftlich ersucht, mir von dem leuchtenden Seewasser doc hetwas in Fläschchen nach Berlin zu senden, indem ich wenigstens die todten Thierchen dadurch zur Anschauung zu bekommen glaubte. Ich erhielt drei Fläschchen dieses Wassers durch Hrn. Dr. Michaelis Güte im vergangenen October zu Berlin, und hatte die Freude, daran mehrere naturhistorische interessante Beobachtungen zu machen. Ich erwähne hier nur die auf das Leuchten Bezug habende, weil sie eine *neue* Thatsache für diese interessante Erscheinung aus Europa selbst enthält.

Ruhig stehend leuchtete das Wasser im Dunkeln nicht, wobei jedoch nicht zu vergessen ist, dafs es schon zehn Tage alt war. Stark geschüttelt zeigte es nur zwei Mal ganz schwache Spuren eines leuchtenden Funkens, die mir, bei der gespannten Aufmerksamkeit, als subjectives, durch's Auge bedingtes, scheinbares Lichtgefühl, zweifelhaft waren. Am selben Abend versuchte ich jedoch mit Professor Heinrich Rose, durch chemische Reize, wie sie Macartney und besonders Artaud zuerst angewendet haben, das Wasser zu er-

regen, und die dabei vorkommenden Erscheinungen zu beobachten. Ein Zusatz von etwas zur Hälfte mit Wasser verdünnter Salzsäure zu einer Tasse voll Wasser bewirkte sogleich zu unserer unerwarteten Freude ein helles, schnell vorübergehendes Leuchten von 8 bis 10 Punkten, aber dann nicht weiter. Andere Versuche mit demselben Wasser und mit Wasser aus den anderen Fläschchen gaben dann keine anderen, als negative Resultate. Am folgenden Tage untersuchte ich nun das unvermischte Wasser genau mit dem Mikroskope, und verzeichnete und zeichnete alle darin aufzufindende Thierchen, deren es, neben vielen todten Entomostraceen, eine ansehnliche Zahl lebender Infusorien gab. Dabei bemerkte ich sehr kleine, nur $\frac{1}{3}$ Linie grofse Würmchen, aus der Klasse der Gliederwürmer (*Annulaten*), und erkannte aus der Anwesenheit der Schilder am Rücken sie sogleich für eine sehr kleine Form der Gattung Polynoë. Am nächsten Abend versuchte ich nun, sowohl eine gewisse Anzahl von den beobachteten gröfseren Infusorien in einem Uhrglase zu isoliren, als auch eines jener Gliederwürmer isolirt zu beobachten. Zu den so isolirten lebenden Thierformen that ich ein wenig verdünnte Salzsäure. Bei den Infusorien leuchtete nichts; allein das Uhrglas, worin die einzelne Polynoë war, zeigte sogleich einen hellen gelben Lichtfunken, gerade in der Stärke, wie ich eine Mehrzahl von Punkten Tages vorher mit Rose beobachtet hatte. Ich wiederholte diefs noch einmal mit gleichem Erfolg, und in beiden Fällen fand ich das todte Thierchen am Boden des Glases. Da ich noch einige Exemplare dieser Polynoë am folgenden Tage lebendig fand, so isolirte ich dieselben, um unseren würdigen Rudolphi am Abend Augenzeuge der Erscheinung werden zu lassen, was auch bei einem Versuche gut gelang. Jedes isolirte Thierchen gab beim Zusatz von Salzsäure einen einzigen sehr hellen Lichtfunken, und war dann todt.

Das Leuchtthier, welches ich *Polynoë fulgurans* nenne, und das man in Figur 1 Tafel IV *) in 150maliger vergröfserung von der Rückseite her abgebildet sieht, hat folgende naturhistorische Charaktere: *Am Kopfe vorn sitzen sieben Fühlfäden von verschiedener Gröfse, drei zu jeder Seite, eins in der Mitte. Vier Augen sind am Hintertheil des Kopfes, zwei zu jeder Seite. Der Körper besteht aus zehn Gliedern, deren jedes auf jeder Seite ein Paar Füfse trägt, welche mit langen gesägten Borsten besetzt sind; und in ihrer Basis auf der Rückenseite ein fadenförmiges einfaches Athmungsorgan führen. Das letzte oder Schwanzglied hat zwei sehr lange fadenförmige Spitzen. Der Rücken ist in der Mitte nackt, an den Seiten aber mit fünf Paaren nierenförmiger Schildern besetzt, welche die Füfse bedecken. Der Schlundkopf zeigt vier kurze konische Zähne, und im Körper zeichneten sich zwei von der Mitte anfangende breite, körnige, etwas trübe Säcke aus, welche Eierbehältern glichen, und bis zum Ende des Leibes am After reichten.* Diese letzteren Organe sind mir in gleicher Form bei anderen Arten derselben Gattung nicht vorgekommen, und ich bin defshalb der Meinung, dafs sie wohl besonders die Lichtentwicklung bedingen, sie mögen nun Eierstöcke oder besondere Lichtorgane seyn. Dafs Tilesius die Erscheinung mit der Respiration in Verbindung zu bringen sucht, setze ich als historisch bekannt voraus.

Die in dem Wasser, welches ich untersuchte, befindlichen Infusorien waren sämmtlich andere Arten, als die, welche Hr. Dr. Michaelis als leuchtend bezeichnet hat, und gaben bei Isolirung auf die angegebene Weise, und bei Anwendung von Salzsäure, Schwefelsäure oder Alkohol kein Licht.

---

*) Welche Tafel dem folgenden Hefte beigegeben wird.

Zu den Lichterscheinungen bei lebenden Thieren gehört auch das wenig oder noch gar nicht bekannte Leuchten der Augen bei grofsen Schmetterlingen, welches ich sehr oft beobachtet habe. Sowohl grofse Sphinx- als Bombyx-Arten haben im Dunkeln leuchtende Augen. Mir schien jedoch das Leuchten bei diesen mehr ein Rückhalten des aufgenommenen Lichtes, als ein Erzeugen von Licht zu seyn. Meine darüber gesammelten Beobachtungen werde ich zu anderer Zeit mittheilen.

X. *Erhöhte Entzündlichkeit des Phosphors.*

Hr. Bache, Professor der Physik und Chemie an der Universität von Pensylvanien, hat, bei Wiederholung des bekannten Versuchs von Bemmelem, gefunden *), dafs der Phosphor sich schon für sich entzündet, wenn man

*) Man sehe diese Annalen, Bd. 59. S. 268. — Van Bemmelen's Versuche, wie auch in diesem Aufsatze gesagt wird, sind nur eine Erweiterung der von van Marum, welchem die Entdeckung gehört, dafs Phosphor sich im Vacuo der Luftpumpe entzündet, wenn er entweder blofs in trockene Baumwolle eingewickelt, oder in dieser Hülle mit Harz bestreut worden ist. Van Bemmelen fand, dafs im letzteren Fall die Baumwolle überflüssig sey, und eine Bestreuung mit Harz oder Schwefel hinreiche, eben so, dafs Gewürznelken-Oel in gleicher Weise wirke. Beiden Physikern mifslang indefs die Entzündung des Phosphors für sich im Vacuo bei der gewöhnlichen Temperatur. — Sollte sich Hrn. Bache's Angabe als Thatsache bewähren, so wäre es nicht unwahrscheinlich, dafs sie in einigem Zusammenhang stände mit der erhöhten Entzündlichkeit, welche das Davy'sche Phosphorwasserstoffgas, nach Houton-Labillardière's Versuchen (*Ann. de chim. et de phys. T. VI. p.* 304.), durch Verdünnung erlangt. Auch ist wohl nicht zu verkennen, dafs die meisten der in dieser Notiz erwähnten Erscheinungen die gröfste Analogie haben mit der merkwürdigen Wirkung des Platinschwamms, deren Entdeckung wir Döbereiner verdanken.

ihn unter die Glocke einer Luftpumpe bringt, und die Luft alsdann verdünnt. (Wie gering die Temperatur dabei seyn kann, ist nicht angegeben. *P.*)

Statt des Harzes oder Schwefels, welche bekanntlich im luftverdünnten Raum den Phosphor zur Entzündung veranlassen, wenn sie gepülvert auf ihn gestreut worden sind, können, nach Hrn. B., unter denselben Umständen mit gleichem Erfolge auch folgende Substanzen im gepülverten Zustande angewandt werden.

Kohle	Magnesia
Platinschwamm	Barythydrat
Antimon	Kieselerde
Arsenik	Chlornatrium
Zinnober	Salmiak
Schwefelantimon	Chlorcalcium
Quecksilberoxyd	Kohlensaurer Kalk
Bleioxyd	Salpetersaures Kali
Manganhyperoxyd	Salpetersaures Bleioxyd
Kalihydrat	Flufsspath
Kalk	Platin-Salmiak
	Boraxsäure.

Die Temperatur braucht dabei nur etwa 60° F. oder etwas höher zu seyn.

Thierkohle und Kienrufs bewirken bei derselben Temperatur schon unter dem gewöhnlichen Luftdruck, sowohl in offener als eingeschlossener Luft, die Entzündung des Phosphors, der mit ihnen bestreut worden ist *).

*) Ein anderes Beispiel einer solchen erhöhten Entzündlichkeit giebt eine Erfahrung, die ein hiesiger Chemiker vor mehreren Jahren zufällig machte. Es war Phosphor in Dampfgestalt durch ein Glasrohr geleitet, das ein Korkstöpsel verschlofs. Als hernach dieser Pfropfen abgezogen, und von ihm eine Scheibe mit einem scharfen Messer abgeschnitten wurde, entzündete sich diese augenblicklich. Der Pfropfen und die Luft im Zimmer waren ganz kalt, und dennoch gelang der Versuch bei jeder Wiederholung gleich gut. *P.*

Platinschwamm, Antimon, Kali, Kalk, Kieselerde, Kohlensaurer Kalk u. s. w., im gepülverten Zustande angewandt, bringen auch bei derselben Temperatur den Phosphor zum Schmelzen.

Alle diese Erscheinungen werden natürlich durch eine höhere Temperatur als 60° F. noch verstärkt (*American. Journ. No.* 38 *p.* 372.).

XI. *Beschreibung und Zerlegung des asbestartigen Krokydoliths.*

Das 160ste Stück der Göttinger gelehrten Anzeigen von diesem Jahr giebt Nachricht von dieser gemeinschaftlichen Arbeit der HH. Hofräthe Stromeyer und Hausmann, aus der wir, ihres Interesses wegen, hier Folgendes entlehnen.

Das untersuchte Mineral ist am Oranje-Rivier gefunden, und, wie sich durch diese Arbeit ergeben hat, eine Abänderung des vom Prof. Lichtenstein aus Afrika mitgebrachten *), und von Klaproth zerlegten **), ebenfalls am Oranje-Rivier vorgekommenen *Blaueisensteins;* da dieser Name indeſs leicht mit *Eisenblau* und *Blaueisenerde* verwechselt werden könnte, so nennt Hr. H. das Mineral vorschlagsweise *Krokydolith* (von Κροκυς, Flocke, oder eigentlich die vom Einschlag des Tuchs sich ablösende Wolle), und zwar die neue Abart: *asbestartiger,* und die von Klaproth zerlegte: *dichter.*

Der asbestartige Krokydolith ist vollkommen und zart faserig. Die Länge der schwach gebogenen Fasern beträgt an dem untersuchten Stücke 1,8 Par. Zoll. Sie sind gegen zwei parallele Begränzungsebenen unter Win-

*) Dessen Reisen im südlichen Afrika, II S. 382.

**) Dessen Beiträge: VI. S. 237.

keln von etwa 106° und 74° geneigt. Die faserige Masse bildet auf diese Weise eine starke Platte, die von dünnen, höchstens eine halbe Linie starken Schichten begränzt wird, die aus kurzfaserigen Krokydolith bestehen, und zwischen denen das bewaffnete Auge zarte Lagen von *Magneteisenstein* erkennt, der sich durch die Wirkung auf die Magnetnadel verräth, und von welchem die rostbraune Verwitterungsrinde der Schalen herrühren dürfte. Die Fasern lösen sich nicht allein ihrer ganzen Länge nach und auf das Vollkommenste von einander, sondern lassen sich weiter in die allerzartesten Fäden zertheilen, bis zu einer Feinheit, welche die von Spinnefäden übertrifft. Faserbündel sind dünnstänglich abgesondert, aber weniger vollkommen, als beim schillernden Asbest. Löst man die Faserbündel von einander, so bilden sich höchst zarte, der Seide ähnliche Flocken.

Sowohl diesen Flocken, wie dem durch Schaben gebildeten Pulver, ist eine lavendelblaue Farbe eigen. Die Farbe der unzertheilten Faserbündel liegt dagegen zwischen dunklem Indig- und Entenblau.

Die Flächen, auf denen die Fasern sich frei darstellen, sind seidenartig glänzend und schillernd; auf den Flächen der Faserbündel neigt das Seidenartige des Glanzes etwas zum Wachsartigen. Die fein zertheilten Flokken sind seidenartig schimmernd. Nur in diesem aufgelockerten Zustande ist das Fossil durchscheinend; dagegen sind selbst die kleinsten Faserbündel undurchsichtig.

Das specifische Gewicht wurde bei 15° R. =3,200 gefunden, genau wie von Klaproth bei der dichten Art. Die Härte kommt der des Flufsspaths am nächsten. Scharfe Kanten stärkerer Faserbündel ritzen *Kalkspath;* dagegen werden ihre Absonderungsflächen durch *Apatit* geritzt, was am deutlichsten wahrgenommen wird, wenn man rechtwinklig gegen die Faserbündel einschneidet.

Dünne Faserbündel sind stark und vollkommen ela-

stisch biegsam, stärkere sind es weniger. Dabei besitzt das Mineral einen aufserordentlichen Zusammenhalt. Stärkere Faserbündel sind schwer zu brechen; dünnere sehr schwer zu zerreifsen, und die zartesten Fasern lassen sich sehr oft hin- und herbiegen, ja es lassen sich sogar Knoten daraus bilden, ohne dafs der Zusammenhang aufgehoben wird.

Unter Beihülfe des Hrn. Domainenpächter Henrici in Harste fand Hr. H., dafs ein aus dem Mineral geschnittener genau calibrirter Cylinder, von 0,04 Engl. Zoll im Durchmesser, 91 Hannöversche Pfund ohne Zerreifsung trug; er zerrifs erst bei einem Gewichte von etwa 100 Pfund. Ein 0,07 Engl. Zoll dicker Cylinder aus *gemeinem Asbest* zerrifs schon bei einem Gewicht von 11 bis 12 Loth. *Fasergyps* von Ilfeld, in einem eben so starken Cylinder angewandt, trug gegen 5 Pfund.

Der asbestartige Krokydolith ist sanft anzufühlen, und hängt nicht an der Zunge. Auf vollkommen reine Stücke, selbst auf die zartesten Nadeln wirkt der Magnet nicht im Mindesten. Er wird weder durch Erwärmung, noch durch Reiben oder Druck elektrisch.

In starker Rothglühhitze schmilzt das Mineral ungemein leicht zu einem schwarzen, glänzenden, undurchsichtigen, etwas blasigen Glase, welches vom Magnet angezogen wird, und zerrieben ein schwärzlichgraues Pulver giebt. Dünne Faserbündel kommen schon in der Flamme einer Weingeistlampe in Flufs. Diefs ist eine unterscheidende Verschiedenheit vom Asbest.

Beim Schmelzen nimmt zugleich sein Volumen dem Breitendurchmesser nach bedeutend zu, und dehnt sich wohl zu dem Vier- bis Fünffachen desselben aus.

In Wasserstoffgas bis zum Schmelzen erhitzt, giebt es ein eisengrau gefärbtes, blasiges Glas, das vom Magneten stark angezogen wird, und, mit Salzsäure übergossen, Wasserstoffgas entbindet.

In fliefsendem Borax löst sich dasselbe sehr leicht auf, eine grün gefärbte vollkommen durchsichtige Perle gebend, die auf Zusatz von Salpeter rothbraun wird.

Schwefelsäure, Salzsäure, Salpetersäure und Königswasser wirken, selbst in der Wärme, nicht merkbar auf dasselbe, ziehen nur eine Spur Eisen aus, ohne übrigens weder dessen Farbe, noch dessen Zusammenhang und faseriges Gefüge nur im Mindesten zu ändern.

Alkalien, jedoch erst in der Wärme, greifen dasselbe an, zerstören sein Gefüge, und ertheilen ihm anfangs eine grünliche, dann rothbraune Farbe.

Zufolge der vom Hrn. St. unternommenen Analyse sind in 100 Theilen des asbestartigen Krokydolith enthalten:

Kieselerde	50,81
Eisenoxydul	33,88
Manganoxyd	0,17
Magnesia	2,32
Kalk	0,02
Natron	7,03
Wasser	5,58
	99,81

Phosphorsäure, die wegen der blauen Farbe des Minerals in demselben vermuthet wurde, konnte bei einem eigends deshalb angestellten Versuch nicht aufgefunden werden.

Eine Analyse der faserigen Abart, welche Hr. St. mit einer vom Prof. Weifs erhaltenen Probe unternahm, gab:

Kieselerde	51,64
Eisenoxydul	34,38
Manganoxyd	0,02
Magnesia	2,64
Kalk	0,05
Natron	7,11
Wasser	4,01
	99,85

und erwies auch im Uebrigen, im Verhalten bei Erhitzung, gegen Säuren und Alkalien, die vollkommenste Identität dieses Minerals, des von Klaproth untersuchten Blaueisensteins, mit dem asbestartigen Krokydolith.

Eine *faserige*, von der afrikanischen etwas serschiedene Varietät des Krokydôlith findet sich, nach Hrn. H., im Zirkonsyenit, der zu Stavern im südlichen Norwegen vorkommt, eingewachsen mit Titaneisen zwischen fleischrothem Feldspath. Diefs Mineral ist unvollkommen, theils gleich-, theils aus einander-, und durch einander-laufend faserig. Faserbündel lassen sich von einander ablösen, haben aber bei weitem nicht die Theilbarkeit, wie bei der asbestartigen Varietät. Es ist lavendelblau, einerseits in's Schwärzlichblaue, andererseits in's Grünliche fallend, schimmert inwendig seidenartig und ist undurchsichtig. Sein specifisches Gewicht ist bei 15° R. =3,393, also (vermuthlich in Folge eines andern, innig mit ihm verwachsenen Minerals) etwas höher als bei der afrikanischen Varietät. Härte und Verhalten im Feuer ist wie bei letzterer. Es ist schwer zersprengbar, mager anzufühlen und hängt schwach an der Zunge.

Mit diesem verwachsen kommt ein anderes blättriges Mineral vor, das lebhaft glänzt, und bald lauch-, bald schwärzlichgrün erscheint. Es hat zwei ausgezeichnete Blätterdurchgänge, rechtwinklig auf einander, und aufserdem, wie es scheint, noch zwei schiefwinklige. Spaltungsflächen glänzen stark. Das Mineral ist durchscheinend

ritzt Apatit, und schmilzt vor dem Löthrohr sehr leicht zu einem anfangs rothbraunen, später schwarzen und dann dem Magnete folgsamen Glase. Diefs Fossil scheint mit Amphibol oder Pyroxen verwandt zu seyn.

Als ferner dem Krokydolith beizuzählen, sind, nach Hrn. H.:

1) Eine in Grönland vorkommende Varietät, zwischen der *dichten* und *faserigen* liegend, unvollkommen, kurz und durch einander laufend faserig, dem Unebenen genähert, dunkel lavendelblau, undurchsichtig, inwendig matt, schwer zersprengbar, an der Zunge hängend. Specifisches Gewicht =3,220. Härte und Verhalten im Feuer wie bei den andern Varietäten.

2) Das von v. Leonhard, unter dem Namen des *faserigen Siderits*, beschriebene, zu Golling in Salzburg mit Sapphirquarz zusammenbrechende Fossil.

3) Wahrscheinlich der lavendelblaue Anflug, der sich unter andern auf dem körnigen Hornblendgestein von Kjernerud-Wasser, unweit Kongsberg in Norwegen, findet, und nach Hrn. St. keine Phosphorsäure enthält.

Sollte der asbestartige Krokydolith aus Süd-Afrika in gröfserer Menge zu erhalten seyn, so würde man wegen seiner Eigenschaft, sich sehr leicht in die feinsten Fäden von verhältnifsmäfsig ausgezeichneter Festigkeit theilen zu lassen, vielleicht nützliche Anwendungen, z. B. zu Fadenkreuzen in Teleskopen, davon machen können.

XII. *Anomaler Nordlichtbogen.*

Hr. Martin Field, der zu Fayetteville (Br. 42° 58′ N. und 4° 20′ L. O. von Washington) in den Vereinigten Staaten seit mehreren Jahren ein meteorologisches Tagebuch führt, bemerkt in Silliman's *Journ. Vol. XX. p.* 262., hinsichtlich der Nordlichter, dafs er in den letz-

ten zehn Jahren (1820 bis 1830) im Durchschnitt jährlich etwa 18 gesehen habe, dafs aber in den letzten 12 Monaten (von Mai 1831 rückwärts gerechnet) allein 56 sichtbar waren. Die Bemerkung hat wohl einiges Interesse, da auch in Europa die Zahl der Nordlichter in jüngster Zeit zuzunehmen scheint.

Unter den von ihm beobachteten Nordlichtern zeichnete sich besonders eins, das am 9. März 1831 gesehen wurde, durch die ungewöhnliche Form des Bogens aus. Es war ein heiterer sternheller Abend, das Thermometer stand auf 26° F., und obwohl am Tage Südwind geherrscht hatte, war es jetzt ganz ruhig. Anfänglich schossen im Norden die gewöhnlichen Lichtsäulen auf; gegen 8 Uhr bildete sich aber ein heller Bogen, der bis zu einer Höhe von 40° heraufstieg, wohl begränzt war, und sich von Osten bis Westen über das ganze Himmelsgewölbe erstreckte. Dieser Bogen hatte die in folgender Figur abgebildete Gestalt. Er bildete nämlich nicht wie

gewöhnlich einen einzigen Kreisbogen, sondern bestand aus mehreren mit einander verbundenen Kreisstücken von verschiedenen Durchmessern. Seine Dauer betrug etwa funfzehn Minuten; dann zerfiel er in mehrere Stücke und verschwand allmälig.

XIII. *Salpetrige Atmosphäre zu Tirhoot.*

Tirhoot ist einer der hauptsächlichen Districte Indiens für die Salpetergewinnung. Der Boden ist überall sehr reichlich mit dieser Substanz imprägnirt, und bei regnigtem und kaltem Wetter bekleiden sich die Mauern der Häuser mit wolligen Krystallen von Mauersalpeter in solcher Menge, daſs man sie, an feuchten Stellen, alle zwei bis drei Tage in ganzen Körben voll abnehmen kann. Selbst bei warmen Wetter ist der Boden so feucht, daſs es schwer hält einen Fleck zu finden, der das Gewicht eines Hauses zu tragen vermag. Auch unter den günstigsten Verhältnissen giebt der Boden zuletzt nach, und der Mauersalpeter zerfriſst die besten Ziegeln in solchem Grade, daſs Häuser um mehrere Zoll tief einsinken. Wohnungen von schlechterem Material gebaut leiden natürlich noch mehr, und es ist nicht selten, daſs sie ganz einstürzen, wenn ungebrannte Ziegeln angewandt wurden. Ein neues Magazin, mit einem gewölbten Dache von Mauerwerk, welches das Gouvernement bauen lieſs, ward gleich nach seiner Vollendung so unsicher befunden, daſs man es gänzlich niederreiſsen und nach einem neuen Plan wieder aufbauen muſste.

Die Landschaft ist voller Moräste und Lagunen, welche dadurch entstanden zu seyn scheinen, daſs die Flüsse ihren Lauf mit der Zeit änderten. Während der Regenzeit bilden sie Seen, von denen einige dann mit den Flüssen in Verbindung treten und dadurch in etwas gereinigt werden; andere aber bleiben auch während dieser Zeit mit all den Stoffen beladen, die in der heiſsen Jahreszeit durch eine profuse Vegetation von Wasserpflanzen und eine zahlreiche Bevölkerung aller Arten der ekelhaftesten Amphibien herbeigeführt werden (*Ann. of Phil. IX p.* 151).

ANNALEN
DER PHYSIK UND CHEMIE.

JAHRGANG 1831, ZEHNTES STÜCK.

I. *Ueber die chemische Zusammensetzung des gediegenen Goldes, besonders des Goldes vom Ural;*

von Gustav Rose.

Das in der Natur vorkommende Gold ist, so viel man weifs, nicht chemisch rein, sondern enthält immer Silber beigemischt. Die Menge dieses Silbers ist bei dem gediegenen Golde der verschiedenen Gegenden verschieden. Wir besitzen davon Analysen von Fordyce, Klaproth, Lampadius und Boussingault. Fordyce untersuchte das gediegene Gold von Kongsberg in Norwegen, und fand es zusammengesetzt aus:

Gold	28	Theilen
Silber	72	-

Klaproth*) untersuchte gediegenes Gold von Schlangenberg im Altai, und fand es zusammengesetzt aus:

Gold	64	Theilen
Silber	36	-

Lampadius fand in einem gediegenen Golde.

Gold	96,6
Silber	2,0
Eisen	1,0.

*) Klaproth, Beiträge zur chemischen Kenntnifs der Mineralkörper, Bd. IV S. 1.

Die ausführlichste Untersuchung über das gediegene Gold hat indessen Boussingault angestellt*). Er machte eine ganze Reihe von Analysen von dem Golde, welches an verschiedenen Orten in Columbien vorkommt, und sich dort theils von seiner ursprünglichen Lagerstätte losgerissen in Körnern lose im Sande, theils in den Gebirgen anstehend findet. Er fand die Menge des Silbers in den Goldproben von den verschiedenen Lagerstätten sehr verschieden, aber das Silber mit dem Golde stets in ganz bestimmten Proportionen verbunden. Nach seinen Untersuchungen waren immer 1 Atom Silber mit mehreren Atomen Gold verbunden, und zwar fand er Verbindungen von 1 Atom Silber mit 2, 3, 5, 6, 8 und 12 Atomen Gold. Da das Gold elektronegativer ist als Silber, so betrachtete er in diesen Verbindungen das Gold als den elektronegativen, und das Silber als den elektropositiven Bestandtheil. Boussingault hatte nicht selten Krystalle untersucht; wo er sie beschrieb, waren die Krystalle die bekannten des gediegenen Goldes, die verschiedenen Verbindungen unterschieden sich durch ihre Form nicht.

Ich habe die Resultate seiner Analysen in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Das analysirte Gold ist sämmtlich aus Columbien, bis auf das zweite aus Siebenbürgen, bei welchem der nähere Fundort nicht angeführt ist. In der ersten Spalte steht der Name des Fundorts, in der zweiten und dritten das Resultat der Analyse, in der vierten die chemische Formel, die Boussingault aus der Analyse abgeleitet hat, in der fünften und sechsten die Menge von Gold und Silber, die nach der Formel berechnet ist; in der siebenten stehen Bemerkungen über die Form, das Vorkommen und das specifische Gewicht des angewandten Stückes.

*) Vergl. *Ann. de chim. et de phys. T. XXXIV p.* 408, und daraus in diesen Annalen, Bd. X S. 313, und *Ann. de chim. et de phys. T. XLV p.* 440.

Fundort.	Chemische Zusammensetzung nach der Analyse. Gold.	Silber.	Chemische Formel.	Chemische Zusammensetzung nach der Theorie. Gold.	Silber.	Bemerkungen über das angewandte Stück.
St. Rosa de Osos	64,93	35,07	$AgAu^2$	64,78	35,22	Ein Korn aus dem Sande, sp. Gw. 14,149.
Siebenbürgen	64,52	35,81	- -	-	-	Krystallisirtes Stück aus der Grube..
Marmato bei la Vega de Supia	73,45	26,48	$AgAu^3$	73,4	26,6	Krystalldr. aus d. Grube, sp. Gw. 12,666.
Titiribi	74,0	26,0	- -	-	-	Krystalle aus einer Thonschicht.
Otra Mina, bei Titiribi . .	73,4	26,6	- -	-	-	- - - -
Grube Sebastiana, bei Marmato	74,4	25,6	- -	-	-	Krystalldruse.
Trinidad, bei St. Rosa de Osos	82,4	17,6	$AgAu^5$	82,14	17,86	Ein Korn aus dem Sande.
Vega de Supia	82,1	17,9	- -	-	-	- - - - - - -
Ojas Anchas	84,5	15,5	$AgAu^6$	84,71	15,29	Einzelne Blättchen aus dem Sande.
Malpaso, bei Mariquita . .	88,24	11,76	$AgAu^8$	88,04	11,96	Mehrere abgeplatete Körner aus dem Sande, spec. Gewicht 14,706.
Rio Sucio, bei Mariquita . .	87,94	12,06	- -	-	-	Mehrere Körner, spec. Gew. 14,690.
Llana, bei Vega de Supia .	88,58	11,42	- -	-	-	Mehrere abgeplattete Körner.
Baja, bei Pamplona	88,15	11,85	- -	-	-	
St. Bartolomé, bei Quiebralomo	91,9	8,1	$AgAu^{12}$	91,7	8,3	Ein Stück aus der Grube.
Giron	91,9	8,0	- -	-	-	Mehrere dünne Blättchen aus d. Sande.
Bucaramanga	98,0	2,0				

Die Analysen stimmen so gut mit der Theorie überein, dafs man nicht zweifeln kann, dafs in dem gediegenen Golde Gold und Silber in bestimmten Proportionen verbunden sind. Auch die Klaproth'sche Analyse pafst mit dieser Ansicht vollkommen; das Gold von Schlangenberg wäre hiernach $AgAu^2$, wie das Gold von St. Rosa de Osos und aus Siebenbürgen. Weniger gut ist hiermit die Analyse von Fordyce in Uebereinstimmung; betrachtet man das Gold von Kongsberg als Ag^2Au, so müfste es statt 28, 31,50 Gold, und statt 72, 68,50 Silber enthalten, indessen könnte man die Ursache dieser geringeren Uebereinstimmung darin finden, dafs die Analyse zu einer Zeit angestellt ist, wo es noch nicht möglich war, den chemischen Untersuchungen einen solchen Grad der Genauigkeit zu geben, wie jetzt.

Ungeachtet aber dieser Uebereinstimmung der Theorie und der Erfahrung, hat doch die Ansicht von der Zusammensetzung des ged. Goldes nach bestimmten Proportionen etwas befremdendes. Die Krystallformen des Goldes und des Silbers stimmen so überein, dafs man geneigt ist, diese Metalle für isomorph zu halten, aber isomorphe Substanzen sind gewöhnlich nicht nach bestimmten Proportionen mit einander verbunden. Es wäre eben so auffallend Antimon, Arsenik und Tellur in bestimmten Proportionen verbunden zu finden. Da indessen isomorphe Körper auch nach bestimmten Proportionen zusammengesetzt vorkommen, wie z. B. im Bitterspath, Diopsid u. s. w., so besteht das Auffallende der Boussingault'schen Analysen nur darin, dafs nach denselben Gold und Silber stets in bestimmten Proportionen verbunden sind.

Als ich im Jahre 1829 Hrn. Baron A. v. Humboldt auf seiner Reise nach Sibirien begleitete, wünschte ich, die Gelegenheit nicht vorübergehen zu lassen, Goldproben von verschiedenen Goldwäschen des Urals zu sammeln, um durch sie die chemische Beschaffenheit des gediegenen Goldes von diesem Gebirge zu erfahren. Durch die

Liberalität des russischen Finanzministers, Hrn. Grafen v. Cancrin, wurden meine Wünsche über meine Erwartung befriedigt, indem derselbe, auf Hrn. v. Humboldt's Bitte, den Kaiserlichen und Privatwerken im Ural den Befehl und die Erlaubnifs ertheilte, mir von dem Golde einer jeden Goldwäsche, von der ich es wünschte, einige Solotnicks Gold zur Untersuchung zu geben. Dadurch war ich im Stande nach meiner Rückkehr eine Reihe von Analysen vom gediegenen Golde des Urals anzustellen, die ich hier nun mittheile. Ich habe diesen Analysen noch einige andere von dem gediegenen Golde anderer Länder hinzugefügt, da die abweichenden Resultate, die ich erhielt, eine weitere Untersuchung nothwendig machten.

Das Gold kommt am Ural theils anstehend, theils lose im Sande als Waschgold vor. Vor der Entdeckung des letzteren, im Jahre 1819, wurde das Gold nur durch unterirdischen Bergbau gewonnen. Seit dieser Zeit hat man den beschwerlichen wenig lohnenden Bergbau gröfstentheils eingestellt, und nur die zwei Gruben zu *Beresow*, 15 Werst nordöstlich von Katharinenburg, und *Newiansk*, 95 Werst nördlich von Katharinenburg, zu bearbeiten fortgefahren. Zur Zeit unserer Reise hatte man auch den Bergbau an letzterem Orte aufgegeben. Hr. v. Humboldt erhielt jedoch ein schönes grofses Gangstück mit Gold, das, wie alle übrigen Mineralien, die wir von der Reise mitbrachten, sich jetzt in dem Königlichen mineralogischen Museum in Berlin befindet. Das Gold, wo es ansteht, kommt auf Gängen von Quarz vor. Das von Beresow findet sich krystallisirt und derb in kleinen Parthien, das von Newiansk kommt nicht krystallisirt, sondern nur in ein- und aufgewachsenen Blättchen vor.

In dem Goldsande findet sich das Gold gewöhnlich in kleinen Körnern und Schüppchen; zuweilen kommen indefs Stücke von bedeutender Gröfse vor, wie diefs be-

sonders in einer Wäsche Czarewo Alexandrowsk, bei Miask im südlichen Ural, der Fall ist, wo ein Stück von 24$\frac{2}{3}$ russischen Pfunden vorgekommen ist *). Aufserdem sind daselbst noch Stücke von 13 und 16 Pfund u. s. w. vorgekommen. In dem Waschgolde finden sich auch kleine Krystalle von Gold, die, wenn sie gleich keine scharfen Kanten und Ecken haben, doch hinlänglich deutlich ihre Form erkennen lassen.

Man kennt zwar im Allgemeinen den Gehalt dieses Goldes an reinem Metall, da sämmtliches am Ural gewonnene Gold sowohl in der Münze von Katharinenburg, als auch in der von Petersburg probirt wird, und über seinen Gehalt Tabellen geführt werden. Da indessen das Gold aus ganzen Bezirken zusammengeschmolzen, und dann erst probirt wird, so erfährt man aus diesen Tabellen nicht die chemische Zusammensetzung eines einzelnen Kornes, oder einer einzelnen Krystalldruse, und sie konnten mir daher für meinen Zweck zunächst nichts nützen. Da sie indessen den mittleren Gehalt des Goldes geben, so will ich einen Auszug einer solchen Tabelle hier hersetzen, die ich dem Hrn. Münzprobirer Weitz in Katharinenburg verdanke, und in der die Zusammensetzung des Goldes angegeben ist, das vom 1. Juli 1828 bis zum 1. Januar 1829 a. St. gewonnen ist.

In dieser Tabelle enthält die erste Spalte den Namen des Bezirks, in welchem das Gold gewonnen ist, die zweite das Vorkommen desselben, ob es lose als Waschgold oder in den Gruben durch Bergbau gewonnen ist, die dritte, vierte, fünfte enthält die Menge Solotnicks, welche an Gold, Silber und Alliage in einem russischen Pfunde oder 96 Solotnicks des geschmolzenen Goldes gefunden sind. Unter Alliage wird am Ural alles verstanden, was in dem geschmolzenen Metall nicht Gold und Silber ist. Sie besteht aus Metallen, die meisten-

*) Vergl. A. v. Humboldt, über die Goldausbeute im russischen Reiche, diese Ann. Bd. XVIII S. 273.

theils nicht chemisch mit dem natürlichen Golde verbunden waren, sondern mit ihm zusammen vorkommen, und durch Waschen nicht vollständig getrennt werden konnten, als Platin, Blei, Eisen u. s. w. Die Zahlen der sechsten und siebenten Spalte habe ich aus den andern berechnet, sie zeigen das Verhältnifs des Goldes zum Silber, welches in 100 Th. einer nur aus Gold und Silber bestehenden Legirung enthalten ist.

Bezirk von:	Vorkommen.	Das geschmolzene in Solotnicks:			Gold enthält in Procenten.	
		Gold.	Silber	Allig.	Gold.	Silber.
Katharinenburg	i. Goldsande	$86\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	3	93,01	6,99
-	in der Grube	76	$9\frac{1}{2}$	$10\frac{1}{2}$	87, 4	12,6
Miask	i. Goldsande	$88\frac{1}{6}$	$6\frac{2}{3}$	$1\frac{1}{6}$	93, 0	7,0
Bogoslowsk . .	-	$84\frac{1}{3}$	$10\frac{2}{3}$	1	88, 8	11,2
Kuschwa	-	$85\frac{1}{3}$	$9\frac{1}{6}$	$1\frac{1}{2}$	90, 3	9,7
Werch Isetsk .	-	$88\frac{1}{2}$	7	$\frac{1}{2}$	92, 7	7,3
Nischne Tagil .	-	$86\frac{1}{2}$	$8\frac{5}{6}$	$\frac{2}{3}$	90,73	9,27
Kaslinski	-	$87\frac{5}{6}$	$7\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	91,97	8,03
Newiansk . . .	-	87	$8\frac{1}{6}$	$\frac{5}{6}$	91,42	8,58
-	in der Grube	$84\frac{1}{2}$	$8\frac{2}{3}$	$2\frac{5}{6}$	92, 5	7,05
Sisersk	i. Goldsande	$87\frac{1}{2}$	$7\frac{5}{6}$	$\frac{2}{3}$	91,78	8,22
Ufaley	-	$87\frac{1}{3}$	$8\frac{1}{6}$	$\frac{1}{2}$	91,45	8,55
Schaitansk . . .	-	$90\frac{2}{3}$	$4\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	95,10	4,90
Bilimbajewsk .	-	$89\frac{1}{3}$	$6\frac{1}{6}$	$\frac{1}{2}$	93,54	6,46
-	(einzelne grofse Stcke)	$86\frac{5}{6}$	$8\frac{1}{3}$	$\frac{5}{6}$	91,24	8,76
Rewdinski . . .	i. Goldsande	$88\frac{2}{3}$	$6\frac{1}{3}$	1	93,33	6,67
Wsewoledski .	-	85	$10\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	89,01	10,99
Bissersk	-	$87\frac{2}{3}$	$7\frac{1}{3}$	1	88,72	11,28

Man ersieht aus dieser Uebersicht, dafs das Gold vom Ural im Durchschnitt nicht so silberhaltig ist, als es einzelne Stücke aus Columbien oder Siebenbürgen sind.

Man kann schon ziemlich durch das Verhalten vor dem Löthrohr beurtheilen, ob das Gold viel oder wenig Silber enthält. Wenn man reines Gold mit Phosphorsalz vor dem Löthrohr zusammenschmilzt, so wird es

davon gar nicht aufgelöst, das Phosphorsalz bleibt klar und durchsichtig. Reines Silber verändert ebenfalls das Phosphorsalz, in der äufsern Flamme damit zusammengeschmolzen, gar nicht, in der innern Flamme aber opalisirt das Phosphorsalz nach dem Erkalten gelblich, oder wird ganz gelb und undurchsichtig, nach dem geringeren oder gröfseren Zusatz von Silber. Eben so verhält sich das natürlich vorkommende Gold; enthält es nur wenig Silber, so opalisirt es mit Phosphorsalz in der inneren Flamme, enthält es viel Silber, so wird das Glas ganz gelb und undurchsichtig. Enthält es indessen noch nicht $\frac{1}{4}$ Procent Silber, so wirkt dieses gar nicht auf das Phosphorsalz, und ist vor dem Löthrohr nicht zu erkennen. Als ich auf diese Weise das Gold vom Ural untersuchte, fand ich, dafs zuweilen manche Körner einer Wäsche gar nicht, andere Körner derselben Wäsche sehr stark auf Silber reagirten, woraus sich schon ergab, dafs das Gold aus den Wäschen in den einzelnen Körnern verschieden zusammengesetzt ist; ein Resultat, welches ich durch die späteren Analysen bestätigte.

Ich habe sowohl das Gold aus dem Goldsande als auch aus den Gruben analysirt. Von dem ersteren wurden jedesmal nur einzelne Körner untersucht, nie mehrere zusammen, von dem letzteren einzelne Drusen oder verschiedene Parthien, die auf einem und demselben Stücke sich befanden. Das Grubengold kommt gewöhnlich mit Quarz und Brauneisenstein vor, und es ist schwer, es auf eine mechanische Weise von diesen Begleitern zu trennen. Auch das Waschgold findet sich zuweilen mit diesen zusammen, daher das zu untersuchende Gold meistens zuerst in reine Chlorwasserstoffsäure, welche kein freies Chlor enthielt, gelegt und darin digerirt wurde, bis neue hinzugethane Säure nicht mehr gefärbt wurde. Enthielt das Stück Quarz, so wurde es nun in einem hessischen Tiegel geschmolzen, der Quarz, welcher an die

Oberfläche der geflossenen Masse gekommen war, wurde abgefeilt und das Gold auf dem Ambofs ausgeplattet.

Die Methode, deren ich mich zur Analyse bediente, war verschieden, je nachdem das gediegene Gold mehr oder weniger Silber enthielt, welches an der messing- oder goldgelben Farbe zu erkennen war. Das goldgelbe Gold wurde in Königswasser aufgelöst. Die Auflösung geschah in einem mit einem Deckglase bedeckten Becherglase auf der warmen Kapelle. Das Silber blieb gröfstentheils als Chlorsilber zurück, und hatte noch die Form der angewandten Goldplatte. Die Auflösung wurde abgegossen, das Chlorsilber mit dem Glasstab zerdrückt und neues Königswasser hinzugethan, womit das Chlorsilber noch eine Zeit lang auf der warmen Kapelle digerirte. Hielt das Gold an 20 Proc. Silber, so hatte das zurückbleibende Chlorsilber so viel Zusammenhalt, dafs es sich mit dem Glasstabe nicht zerstofsen liefs. Man ist dann unsicher, ob durch das Königswasser auch alles Silber ausgezogen ist, und kann diese Methode nur für den Fall anwenden, als man die Goldprobe zu einer sehr dünnen Platte ausgeschlagen hat. Der erste Aufgufs von Königswasser sowohl als der zweite wurde nun mit Wasser verdünnt, wodurch sich der zweite von dem sich niederschlagenden Chlorsilber stark trübte, der erste gar nicht oder nur sehr wenig, da eine gesättigte Goldauflösung kein Chlorsilber aufzulösen scheint. Die Auflösungen wurden an einen warmen Ort gestellt, und wenn sich alles Chlorsilber abgesetzt hatte, die ersteren filtrirt, das Chlorsilber sodann getrocknet, in einem Porcellantiegel geschmolzen und gewogen. Die abfiltrirte Flüssigkeit wurde in der Porcellanschale abgedampft, bis alles überflüssige Chlor verjagt war und die zurückbleibende Masse aufhörte zu dampfen. Letztere wurde darauf in Wasser aufgeweicht in ein Becherglas gespühlt und mit Oxalsäure versetzt. Das Becherglas war mit einem convexen

Deckglase bedeckt worden, damit das Gold, welches mit der sich entwickelnden Kohlensäure mechanisch fortgerissen wurde, nicht verloren ging.

Die neutrale Goldauflösung trübt sich beim Zusatz der Oxalsäure augenblicklich, die getrübte Flüssigkeit sieht im gebrochenen Lichte grün, im zurückgeworfenen braun und undurchsichtig aus; doch bedarf es noch einiger Zeit, ehe das Gold vollständig gefällt ist, daher es 24 Stunden und länger auf der warmen Kapelle stehen gelassen wurde. Das Gold legt sich in metallisch-glänzenden Blättchen an die Wände des Glases an. Die Flüssigkeit war vollständig gefällt, wenn sie ganz wasserhell geworden war und sich keine Blasen, auch bei neuem Zusatz von Oxalsäure, mehr entwickelten. Sie wurde darauf filtrirt, das Gold gewogen, die filtrirte Flüssigkeit aber zur Trockne abgedampft, und die überschüssig zugesetzte Oxalsäure verjagt. Es blieb immer ein kleiner brauner Rückstand, der in Chlorwasserstoffsäure aufgelöst und mit Schwefelwasserstoffwasser versetzt wurde, wodurch ein geringer brauner Niederschlag von Schwefelkupfer entstand, der geglüht und gewogen, und, wegen der geringen Menge, als Kupferoxyd berechnet wurde. Die vom Kupfer abgefiltrirte Flüssigkeit gab dann ferner noch mit Schwefelwasserstoffammoniak einen schwarzen Niederschlag von Schwefeleisen, der auch geglüht und gewogen, und für Eisenoxyd genommen wurde. Beide Niederschläge waren immer sehr gering; das Schwefelwasserstoffwasser verursachte meist nur eine grüne Färbung, aus der sich erst nach längerer Zeit ein schwarzer Niederschlag absonderte.

Das erhaltene Kupferoxyd wurde mit dem Löthrohr untersucht; es wurde sowohl mit Soda reducirt, als auch mit Phosphorsalz geschmolzen, gab in der Regel die bekannten Reactionen und zeigte sich ganz rein, zuweilen nur wurde die Probe, mit Phosphorsalz geschmolzen, in der inneren Flamme beim Erkalten gelb und undurch-

sichtig wie beim Silber, und nur stellenweise röthlich gefärbt. Andere Untersuchungen konnten damit nicht angestellt werden, da in der Regel die Menge nur hinreichend war, um einige Löthrohrversuche zu machen. Als ich eine gröfsere Quantität von verschiedenen Orten blofs auf diese Beimengung des Kupfers untersuchte, reagirte der durch Schwefelwasserstoffwasser erhaltene Niederschlag vor dem Löthrohr wie ganz reines Kupfer. Das Eisen wurde ebenfalls vor dem Löthrohr mit Soda reducirt, wodurch kleine metallische Blättchen erhalten wurden, die vom Magnete anziehbar waren.

Die beiden letzteren Bestandtheile waren mit dem Golde chemisch verbunden, und rührten nicht etwa das Eisen von dem Golde ansitzenden Brauneisenstein oder beide von etwas Kupferkies her, denn ersteres konnte nicht der Fall seyn, da das untersuchte Gold immer erst mit Chlorwasserstoffsäure digerirt war; und letzteres auch nicht, da die Auflösungen des Goldes in Königswasser mit chlorwasserstoffsaurem Baryt nie eine Fällung gaben.

Das Gold vom Ural liefs sich auf diese Weise sämmtlich analysiren, auch habe ich in demselben keine anderen als die angegebenen Bestandtheile gefunden. Ich hatte mich durch eine besondere Untersuchung überzeugt, dafs in dem Golde kein Platin oder eins der anderen mit dem Platin gemeinschaftlich sich findenden Metalle vorkommt. Da Gold und Platin am Ural sehr häufig auf denselben Lagerstätten vorkommen, so hätte es wohl möglich seyn können, dafs sie auch chemisch mit einander verbunden wären. Ich habe deshalb Gold von zwanzig verschiedenen Stellen einer gemeinschaftlichen Analyse unterworfen, und dazu von jeder Goldprobe ungefähr eine halbe Gramme genommen. Folgendes sind die Namen der Oerter, von denen ich Gold zu dieser Untersuchung genommen habe:

Alexandrowsk bei Bogoslowsk
Mostawaja - -
Schilowla bei Nischne-Tagil

Newinsk bei Newiansk
Perroe Pawlowsk bei Beresow
Beresow (aus der Grube)
Mostawaja bei Katharinenburg
Pyschminsk - -
Schabrowski - -
Schelesinka bei Polewskoi
Miaskaja bei Kyschtim
Werchne Aninski bei Kyschtim
Sugurskoi bei Kyschtim
Alexander Andrejewsk bei Miask
Kaskinowski - -
Czarewo Alexandrowsk - -
Ptorroe Pawlowsk - -
Knäs Alexandrowsk - -
Czarewo Nicolajewsk - -
Kawellinski - -

Die Goldkörner wurden mit Chlorwasserstoffsäure digerirt, wie oben angegeben, sodann auf dem Amboſs ausgeplattet, in einem Stöpselglase mit gut eingeriebenem Stöpsel, mit Königswasser übergossen, der Stöpsel mit Blase festgebunden und an einen warmen Ort gestellt. Nach einiger Zeit wurde die Auflösung, nachdem sie ganz erkaltet war, abgegossen, der Rückstand mit neuem Königswasser digerirt, und diese und die erste Auflösung darauf mit so wenigem Wasser als möglich verdünnt. Nachdem das Chlorsilber, welches sich niederschlug, sich gesetzt hatte, wurde die Flüssigkeit in eine tubulirte Glasretorte gethan, an der eine Vorlage mit einem Korke angepaſst war, die durch Eis kalt erhalten wurde, und aus der eine Röhre in eine mit Ammoniak gefüllte Flasche führte. Die Goldauflösung wurde nun überdestillirt, bis alles Chlor übergegangen war; da indessen das Destillat noch etwas gelblich war, und Theile der Lösung mechanisch mit herübergerissen waren, so wurde es noch einmal destillirt, wodurch es ganz wasserhell wurde.

Das Destillat, welches durchaus keinen Geruch nach Osmium wahrnehmen liefs, wurde mit dem Ammoniak der Flasche zusammengegossen, und noch mehr Ammoniak hinzugefügt, bis die Flüssigkeit nicht mehr sauer war, und sodann mit Schwefelwasserstoffwasser versetzt, womit die Flasche ganz gefüllt wurde. Sie wurde nun mit einem gut eingeschliffenen Stöpsel verschlossen und stehen gelassen. Die Flüssigkeit blieb indefs auch nach Monaten ganz klar, und zeigte nicht die geringste Spur eines Absatzes, so dafs also in dem untersuchten Golde kein *Osmium* enthalten war.

Die Rückstände in der Retorte bei der ersten und zweiten Destillation wurden nun mit Wasser verdünnt, wodurch sich noch etwas Chlorsilber ausschied, was filtrirt wurde. Die Flüssigkeit wurde darauf etwas abgedampft, und mit Alkohol und einer sehr concentrirten Auflösung von Chlorkalium in Wasser versetzt. Es bildete sich indefs kein Niederschlag. Nach einiger Zeit setzten sich einige Krystalle ab, die aber ganz weifs waren, die Form von Würfeln hatten, sich in wenigem Wasser auflösten und Chlorkalium waren. Das untersuchte Gold enthielt also kein *Platin, Iridium* und *Rhodium.*

Die Flüssigkeit wurde nun zur Verjagung des Alkohols etwas abgedampft, mit Wasser verdünnt und mit einer Auflösung von Cyanquecksilber versetzt. Es entstand sogleich eine Trübung, die zunahm und einen röthlichgelben Niederschlag erzeugte, der ganz das Ansehen von Cyanpalladium hatte, aber filtrirt, getrocknet und geglüht reines Gold zurückliefs; der Alkohol war nämlich früher nicht völlig verdampft, und der Niederschlag, der entstand, war der nämliche, der sich bildet, wenn eine Goldauflösung mit Alkohol digerirt und mit Cyanquecksilber versetzt wird. In einer alkoholfreien Goldauflösung bildet sich durch Cyanquecksilber kein Niederschlag. Das untersuchte Gold enthielt also auch kein

Palladium. Es ist bekannt, dafs man schon Verbindungen von Rhodium sowohl als Palladium mit Gold gefunden hat, dafs del Rio die erstere Verbindung in dem Mexikanischen Golde, und Cloud in Philadelphia die letztere in Goldbarren gefunden hat, die aus Brasilien gekommen waren; daher ich meine Aufmerksamkeit besonders auf diese Metalle gerichtet hatte.

Folgendes sind die Goldproben, die ich auf die oben angeführte Weise mittelst Königswasser analysirt habe. Ich führe sie in der Ordnung auf, wie ich sie analysirt habe, da die ersteren, in Rücksicht der Bestimmung des Goldes, aus Mangel an Uebung weniger genau sind als die letzteren, und werde später die Resultate, die ich daraus gezogen habe, zusammenstellen.

1) Gold aus dem Goldsande von *Boruschka bei Nischne Tagil;* ein abgeplattetes glattes Korn 1,544 Gr. schwer. Sein spec. Gewicht betrug 17,061 bei 10°,2 R.; bei dem zweiten Aufgufs von Königswasser hatte das Chlorsilber noch seine Form behalten, und liefs sich nicht zerstofsen. Doch war das angewandte Gold fein ausgeplattet, und das Chlorsilber sah geschmolzen ganz rein aus. Es enthielt:

Silber	16,15
Gold, nebst etwas Kupfer und Eisen, und Verlust	83,85.

2) Gold von *derselben Stelle;* ein ähnliches abgeplattetes und glattes, nur gröfseres Stück, das 4,847 Gr. wog. Sein spec. Gewicht betrug 17,955, nachdem es geschmolzen war 17,965, gehämmert 18,016. Es enthielt:

Silber	8,35
Gold	91,36
Kupfer, Eisen und Verlust	0,29.

3) Gold von *derselben Stelle;* ein Stück 1,548 Gr. schwer, ganz von der Form der früheren. Sein spec. Gewicht betrug 18,440, gehämmert 18,663. Es enthielt:

Silber	5,23
Gold	94,41
Kupfer, Eisen und Verlust	0,36.

4) Gold von *derselben Stelle;* ein Stück 0,8955 Gr. schwer, von der Form der früheren. Sein spec. Gewicht betrug 17,588, gehämmert 17,745. Es enthielt:

Silber	9,02
Gold, etwas Kupfer, Eisen und Verlust	90,76.

5) Gold aus dem Goldsande von *Czarewo Nicolajewsk* bei *Miask*; ein Korn, das 2,5155 Gr. wog. Sein spec. Gewicht betrug 17,484, geschmolzen 17,725. Es enthielt:

Silber	10,65
Gold, etwas Kupfer, Eisen und Verlust	89,35.

6) Gold aus dem Goldsande von *Petropawlowsk* bei *Bogoslowsk;* ein dick drahtförmiges Stück mit vielen Längestreifen, 6,55 Gr. schwer. Das spec. Gewicht betrug 16,869. Wegen der tiefen Streifen, in denen sich leicht einige Luftblasen festsetzen konnten, ist es nicht ganz sicher; geschmolzen fand ich das specifische Gewicht 16,964, gehämmert 17,109. Zur Analyse wurde ein Stück abgeschnitten, welches 2,473 Gr. wog. Es enthielt:

Silber	13,19
Gold	86,81
Kupfer, Eisen und Verlust	0,30.

7) Der Rest des vorigen Stückes wurde auf Silber untersucht. Er enthielt:

Silber 13,03.

8) *Gold von Beresow* aus der Grube. Das Gold safs in einzelnen Krystallen und kleinen Parthien in Quarz. Es wurde aus diesem herausgeschlagen und jedes einzelne Stückchen auf dem Ambofs ausgeplattet und vom Quarz befreit. 1,788 Gr. erhaltener kleiner Plättchen enthielten:

Silber	8,03
Kupfer	0,09
Gold, Spur von Eisen und Verlust	91,88.

9) Ein Goldkrystall aus den Wäschen bei *Katharinenburg*. Er enthielt:

Silber	6,28
Kupfer	0,06
Eisen	0,32
Gold und Verlust	93,34.

10) Gold aus dem Goldsande von *Alexander Andrejewsk* bei *Miask;* ein einzelnes Stück von 3,506 Gr. Sein spec. Gewicht war im natürlichen Zustande 17,402, geschmolzen 17,542. Es wurde ausgeplattet, und ein Stück Gr. von 2,1305 analysirt. Es enthielt:

Gold	87,40
Silber	12,07
Kupfer	0,09
Eisen	Spur
	99,56.

11) Gold von *Gozuschka* bei *Nischne-Tagil*. Ein gröſseres Stück, das ausgeplattet und in drei Stücke zerschnitten wurde, die alle untersucht wurden. Das erste Stück, 1,8515 Gr. schwer, enthielt:

Gold	87,31
Silber	12,12
Kupfer	0,08
Eisen	0,24
	99,75.

12) Das zweite Stück:

Gold	87,17
Silber	12,41
Kupfer	0,05
Eisen	0,23
	99,86.

13)

13) Das dritte Stück.

Silber	12,30
Gold etc. und Verlust	87,70.

14) Gold aus der Grube von *Newiansk.* Das Gold war in dünnen Blättchen in Quarz eingewachsen, und stand in den Drusenlöchern desselben aus dem Gestein frei hervor. 0,9165 solcher Blättchen enthielten:

Gold	88,65
Silber	10,64
Kupfer	0,09
Eisen	0,35
	99,73.

15) Gold aus dem Goldsande von *Perroe Pawlowsk* bei *Beresow.* Ein Stück, 3,0695 Gr. schwer, enthielt:

Gold	92,60
Silber	7,08
Kupfer	0,02
Eisen	0,06
	99,76.

16) Gold aus dem Goldsande von *Czarewo Nicolajewsk* bei *Miask.* Ein Stück, 2,249 Gr. schwer, enthielt:

Silber	7,27
Kupfer	0,18
Eisen	0,08
Gold und Verlust	92,47.

17) Gold aus dem Goldsande von *Schabrowski* bei *Katharinenburg.* Ein einzelnes Stück, unförmlich, aber von glatter Oberfläche, und recht passend, um das spec. Gewicht desselben zu bestimmen. Es wog 6,847 Gr. Sein spec. Gewicht war im natürlichen Zustande 19,099, im geschmolzenen Zustande 19,100. Es wurde ausgeplattet und hiervon ein Stück von 3,049 Gr. zur Analyse genommen. Vor dem Löthrohr mit Phosphorsalz geschmolzen, färbte es dasselbe nicht im geringsten. In Königs-

wasser löste es sich ganz auf, und setzte, bei Verdünnung der Auflösung mit Wasser, nur erst nach einiger Zeit einen geringen Niederschlag von Chlorsilber ab, es war also fast reines Gold, wie auch schon aus dem grofsen spec. Gewicht erhellt. Es enthielt jedoch mehr Kupfer als alle Goldproben, die ich analysirt habe. Es bestand aus:

Gold	98,96
Silber	0,16
Kupfer	0,35
Eisen	0,05
	99,52.

18) Gold aus den alten Gruben von *Katharinenburg*. Ein unförmliches Stück, das wahrscheinlich im Brauneisenstein, der aus Schwefelkies entstanden war, gesessen hatte, wovon an dem Stücke auch noch zu sehen war, aus der Königlichen Sammlung in Berlin. Ein Stück von demselben abgemeifselt, das 3,1045 Gr. wog, enthielt:

Gold	92,80
Silber	7,02
Kupfer	0,06
Eisen	0,08
	99,96.

19) Gold aus den Gruben von *Beresow*. Ein Stück, wo das Gold in Blättchen in Brauneisenstein eingewachsen war, aus der Königlichen Sammlung von Berlin. 4,6428 Gr. enthielten:

Gold	93,78
Silber	5,94
Kupfer	0,08
Eisen	0,04
	99,84.

20) Gold von *Titiribi* in *Columbien;* eine kleine Druse auf Quarz aufgewachsen, von Hrn. A. v. Humboldt der Berliner Königl. Sammlung verehrt. Das Gold war sehr mit Quarz gemengt. Die einzelnen undeutlichen Krystalle, die sich sehr leicht von der Druse ablösen liefsen, wurden auf dem Ambofs ausgeplattet, konnten indessen doch auf diese Weise nicht völlig von Quarz befreit werden; daher sie mit dem noch etwas anhangenden Quarz in Königswasser aufgelöst wurden. Sie wogen 2,358 Gr. Das Gold von Titiribi ist sehr silberhaltig, und die Analyse mit Königswasser ist daher hiebei nicht zweckmäfsig, doch war ich dazu durch die schöne goldgelbe Farbe des Stückes verleitet. Es mufste lange mit Königswasser digerirt und dasselbe mehrmals abgegossen und mit neuem ersetzt werden; dennoch liefsen sich manche Plättchen von Chlorsilber nicht mit dem Glasstabe zerdrücken, sie enthielteu indessen kein Gold mehr. Das Chlorsilber wurde, nachdem es geschmolzen und gewogen war, mit Ammoniak digerirt, worin es sich vollkommen auflöste, bis auf den geringen Rückstand von Quarz, der 0,0135 Gr. wog, und vom Gewicht des Chlorsilbers und des Ganzen abgezogen wurde. Das Gold von Titiribi enthält:

Gold	76,41
Silber	23,12
Kupfer	0,03
Eisen	Spur
	99,56.

21) Gold aus der *Bucharei.* Es waren einzelne Körner, die Pallas von seinen Reisen mitgebracht hatte, und die ich zur Analyse durch die Güte des Hrn. Medicinalrath Staberoh erhielt. Die Körner hatten einen dünnen Ueberzug von einer schmutziggrünen Farbe und einigem Fettglanz, der sich aber mit Chlorwasserstoffsäure fortnehmen liefs. Ein Koru von 2,0845 Gr. enthielt:

Silber	7,52
Kupfer	0,30
Eisen	0,17
Gold und Verlust	92,01.

22) Gold von der *Grube St. Barbara zu Füses in Siebenbürgen*, aus der Berliner Königlichen Sammlung. Das Gold findet sich in Blättchen mit Quarz auf kleinen Gängen in einem Thonporphyr von grauem Ansehen, worin viele kleine verwitterte Feldspathkrystalle und einige Quarzkrystalle liegen, aufserdem aber ganz mit kleinen, fast mikroskopischen Schwefelkieswürfeln angefüllt ist. Ein Blättchen von 1,1035 Gr. enthielt:

Gold	84,89
Silber	14,68
Kupfer	0,04
Eisen	0,13
	99,74.

Das Gold, welches mehr als 20 Procent Silber enthält, läfst sich nicht mehr, oder wenigstens nicht gut mit Königswasser analysiren. Das gewöhnliche Verfahren, es zu untersuchen, besteht darin, es zu cupelliren, es mit Silber und Blei auf der Kapelle zusammenzuschmelzen, wobei sich das Blei in die Kapelle einzieht, und eine Legirung von Gold und Silber zurückbleibt, aus der sich nun das Silber mit Salpetersäure ausziehen läfst. Da indefs Gay-Lussac gezeigt hat, dafs diefs Verfahren, auch bei der gröfsten Vorsicht, stets mit einem kleinen Verlust an Silber verbunden ist, so versuchte ich einige andere Methoden, die jedoch nicht alle zum Ziele führten.

Ich stellte meine Versuche mit dem Golde von *Siränowski* an, welches eine der reichsten Silbergruben vom Altai ist. Das Gold ist hier in Blättchen oder gröfseren Massen in Quarz eingewachsen, der in einem grofsen Gange

in Thonschiefer aufsetzt. Da bei dem Quarze etwas Eisenocker vorkam, so wurde ein Stück erst mit Chlorwasserstoffsäure behandelt, und darauf geschmolzen und befeilt; es hatte nun ein spec. Gewicht von 14,556.

Ich schmolz eine gewogene Menge mit ungefähr dem dreifachen Gewicht an Silber in einem Thontiegel zusammen, und liefs die Masse ganz langsam erkalten. Die geschmolzene Masse hatte etwas gespratzt, doch enthielten die fortgespritzten einzelnen Körnchen noch Gold. Dabei war die ganze Masse ganz gleichmäfsig krystallisirt, so dafs sie auch als ganz gleichmäfsig gemischt angenommen wurde. Die geschmolzene Masse wurde aus dem Tiegel herausgenommen, die ansitzende Tiegelmasse abgefeilt und der Verlust auf's Ganze berechnet. Das Silber wurde darauf durch Salpetersäure ausgezogen, der Rückstand in Königswasser aufgelöst, und das Gold wie früher mit Oxalsäure gefällt. Ich erhielt auf diese Weise:

Gold	67,68
Silber	32,04

das übrige ist etwas Eisen. Bei einer Wiederholung des Versuchs erhielt ich:

Gold	66,55
Silber	32,57.

Da ich die Ursache dieses Unterschiedes in allerlei Umständen suchte, so wiederholte ich den Versuch noch zwei Mal, erhielt aber stets gleich verschiedene Resultate, einmal:

Gold	68,94
Silber	31,06.

Das andere Mal:

Gold	67,94
Silber	31,95

wodurch ich mich überzeugte, dafs das Gold und Silber, wenn man es zusammenschmilzt und ruhig erkalten läfst, sich nicht gleichmäfsig mischt. Die späteren richtigeren

Analysen gaben einen viel gröfseren Silbergehalt. Was ich nach dem Zusammenschmelzen des Goldes mit Silber von den Seiten fortfeilte, um ein reines Korn zu haben, war also fast reines Silber; daher, als der Verlust gleichmäfsig auf das zur Analyse genommene Stück und das hinzugesetzte Silber vertheilt wurde, der Silbergehalt in dem Stücke zu gering ausfiel. Das schwerere Gold hatte sich zu Boden gesenkt, und das leichtere Silber in die Höhe gedrängt, und da von den oberen Rändern die meiste Masse fortgefeilt wurde, so betraf der Verlust durch Feilen am meisten das Silber. Da indessen die fortgefeilte Masse immer etwas, aber bei den verschiedenen Analysen verschieden goldhaltig war, so fiel auch bei diesen das Resultat so ungleich aus.

Ich versuchte nun Gold und Silber zusammenzuschmelzen, ohne dafs etwas von der Tiegelmasse am Golde haften blieb. Ich nahm den Tiegel aus dem Feuer, so wie die Masse geschmolzen war, und schüttelte ihn um; setzte auch, weil die Masse stets noch spratzte, etwas kohlensaures Kali hinzu, um ihr eine Decke zu geben, die ich nachher leicht mit Wasser fortnehmen konnte. Dennoch war es mir nicht möglich allen Verlust zu vermeiden, die geschmolzene Masse hatte nie vollkommen das Gewicht des hineingesetzten Goldes und Silbers. Da diefs indessen doch bei einem Versuche ziemlich genau der Fall war, so wurde das hierbei erhaltene Korn analysirt.

1,5021 Gr. Gold von *Siränowski* wurden mit 3,0529 Silber und etwas kohlensaurem Kali zusammengeschmolzen. Die Masse, so wie sie in Flufs gerathen war, schnell herausgenommen, umgeschüttelt, und das kohlensaure Kali nach dem Erkalten mit Wasser aufgelöst. Das erhaltene Korn wog, statt 4,555 Gr., 4,549. Der Verlust betrug also nur 6 Milligrammen, und wurde auf das Ganze berechnet. Die weitere Analyse gab:

Gold	61,38
Silber	38,02
	99,40.

Der Rückstand war Eisen, ohne deutliche Spuren von Kupfer.

Ich versuchte nun das Gold von Siränowski nur auf nassem Wege zu analysiren. Es wurde auf dem Ambofs abwechselnd gehämmert und geglüht, und dadurch zu einer ziemlich dünnen Platte ausgeplattet, die 1,6095 Gr. wog. Sie wurde nun erst mit Salpetersäure in der Wärme digerirt, die Salpetersäure nach einigen Stunden abgegossen und neue hinzugethan. Das Gold war indessen hierdurch nur wenig angegriffen und auf der Oberfläche braun geworden. Es wurde sodann mit Königswasser digerirt, dasselbe abgegossen und mit Wasser abgespühlt, und darauf mit Ammoniak begossen, was sehr schnell das Chlorsilber auf der Oberfläche des Goldes fortnahm. Das Ammoniak wurde in ein besonderes Glas gegossen, das Gold mit Wasser abgespühlt, und nun wieder abwechselnd mit Königswasser und mit Ammoniak behandelt, bis endlich die ganze angewandte Platte aufgelöst war. Die erste Auflösung von salpetersaurem Silber wurde mit Chlorwasserstoffsäure gefällt. Das Glas, welches das in Ammoniak aufgelöste Hornsilber enthielt, wurde ebenfalls mit Chlorwasserstoffsäure versetzt und damit digerirt; die Auflösungen in Königswasser wurden mit Wasser verdünnt, und der Niederschlag aus sämmtlichen Gläsern durch ein und dasselbe Filtrum filtrirt; die durchgelaufene Flüssigkeit wurde zur Trockne abgedampft, in Wasser aufgelöst, mit Oxalsäure versetzt und auf die gewöhnliche Weise behandelt. Auf diese Weise gelangte ich zwar zu meinem Zweck, doch ist die angewandte Methode nicht zu empfehlen; sie ist sehr langwierig, da eine ganze Woche dazu gehörte, ehe alles Gold aufgelöst war, und doch nicht vollkommen genau, da bei dem vielen

Abgiefsen leicht etwas verloren gehen kann, und kleine Theilchen von dem zuletzt immer dünner werdenden Plättchen sich loslösen und leicht mit abgegossen werden. Das Resultat dieser Analyse war:

Gold	61,70
Silber	37,86
Eisen	0,33
	99,89.

Ich versuchte deshalb noch eine andere Methode, nämlich das Gold mit Blei zu schmelzen, und erreichte auf diese Weise vollkommen meinen Zweck. Da Blei sehr leicht schmilzt, und im geschmolzenen Zustande sehr leicht Gold auflöst, so konnte die Zusammenschmelzung mit Gold schon in einem kleinen Porcellantiegel über der Spirituslampe mit doppeltem Luftzuge vorgenommen werden. Die zusammengeschmolzene Masse in dem Tiegel wurde mit Salpetersäure begossen, womit sie eine Weile stehen blieb, bis sie sich von dem Tiegel loslösen liefs, worauf sie in ein Becherglas gespühlt, mit mehr Salpetersäure und mit Wasser, um das in Salpetersäure schwer lösliche salpetersaure Bleioxyd aufzulösen, begossen und warm gestellt wurde. Nachdem nochmals alle Salpetersäure abgegossen und neue hinzugethan war, wurde der Rückstand mit Wasser abgespühlt, in Königswasser aufgelöst, mit Wasser verdünnt, das wenige Chlorsilber, was sich hier noch gebildet hatte, filtrirt. Die filtrirte Flüssigkeit wurde zur Trockne abgedampft, in Chlorwasserstoffsäure und Wasser aufgelöst, und das Gold mit einer Auflösung von Eisenchlorür gefällt. Eine Auflösung von schwefelsaurem Eisenoxydul wurde vermieden, weil das aufgelöste Gold vielleicht noch Blei enthalten haben konnte. Die salpetersaure Auflösung, welche zuerst erhalten war, wurde mit Wasser sehr verdünnt, und darauf mit einer Auflösung von Chlorblei versetzt. Ich fällte das Silber nicht mit reiner Chlorwasserstoffsäure, um mit dem Chlorsilber nicht auch

noch einen Niederschlag von Chlorblei zu erhalten, der bei seiner Schwerlöslichkeit sich nur schwer würde haben wegwaschen lassen. Nachdem die Flüssigkeit warm gestellt war und sich vollkommen geklärt hatte, wurde sie durch dasselbe Filtrum filtrirt, auf welches die Goldauflösung gegossen war. Die geringe Menge Eisen, welche noch in der durchgelaufenen Flüssigkeit war, konnte wegen der Menge Blei nicht geschieden werden.

23) 1,300 Gr. des Goldes von *Siränowski* wurden mit 7 Theilen Blei zusammengeschmolzen; wahrscheinlich kann man viel weniger nehmen, doch schadet ein Ueberschufs nichts. Ich erhielt nach der oben beschriebenen Methode:

Gold	60,98
Silber	38,38
Eisen (nach der vorigen Analyse)	0,33
	99,69.

24) Gold von *Veröspatak* in Siebenbürgen, aus der Berliner Königlichen Sammlung. Es findet sich, wie das von Füses, auf kleinen Gängen mit krystallisirtem Quarz in einem grauen Porphyr, der in Handstücken wie Grauwacke mit eingemengten Schieferstücken aussieht. Schwefelkiespunkte sind auch hier durch die ganze Masse zu sehen. Es wurde mit Blei geschmolzen und auf die nämliche Weise wie das vorige analysirt. Es enthielt:

Gold	60,49
Silber	38,74.

Die übrigen Bestandtheile waren nach anderen Versuchen Kupfer und Eisen. Es ist also das silberreichste von allen, die ich analysirt habe.

Die angeführten Analysen waren meistens in der Reihenfolge aufgeführt, wie ich sie angestellt habe; ich will sie nun noch einmal zur Uebersicht in einer Tabelle aufführen, in der sie nach ihrem Silbergehalte geordnet sind.

Fundort.	Vorkommen lose im Goldsand	Vorkommen anstehend in Gängen	Specifisches Gewicht im natürlich. Zustande	Specifisches Gewicht im geschmolz. Zustande	Silbergehalt in Proc.	Hinweisung auf die Analyse.
Schabrowski bei Katharinenburg	lose	—	19,099	19,100	0,16	(17)
Boruschka bei Nischne-Tagil	lose	—	18,440	—	5,23	(3)
Beresow		anstehend	—	—	5,94	(19)
Katharinenburg	lose		—	—	6,28	(9)
Beresow		anstehend	—	—	7,02	(18)
Perroe Pawlowsk bei Katharinenb.	lose		—	—	7,08	(15)
Czarewo Nicolajewsk bei Miask	lose	—	—	—	7,27	(16)
Bucharei	lose	—	—	—	7,52	(21)
Beresow	—	anstehend	—	—	8,03	(8)
Boruschka bei Nischne-Tagil .	lose	—	17,955	17,965	8,35	(2)
Boruschka . . .	lose	—	17,588	—	9,02	(4)
Newiansk	—	anstehend	—	—	10,64	(14)

Fundort.	Vorkommen		Specifisches Gewicht		Silbergehalt in Proc.	Hinweisung auf die Analyse.
	lose in Goldsand.	anstehend in Gängen.	im natürlich. Zustande.	im geschmolz. Zustande.		
Czarewo Nicolajewsk bei Miask	lose	—	17,484	17,725	10,65	(5)
Alexand. Andrejewsk - -	lose	—	17,402	17,542	12,07	(10)
Goruschka bei Nischne-Tagil .	lose	—	—	—	12,12	(11)
- - - - -	-	—	—	—	12,30	(13)
- - - - -	-	—	—	—	12,41	(12)
Petropawlowsk bei Bogoslowsk	lose	—	16,869	16,964	13,19	(6)
- - -	-	—	-	-	13,03	(7)
Füses in Siebenbürgen	—	anstehend	—	—	14,68	(22)
Boruschka bei Nischne-Tagil .	lose	—	17,061	—	16,15	(1)
Titiribi in Columbien	—	anstehend	—	—	23,12	(20)
Siränowski im Altai	—	anstehend	—	14,556	38,38	(23)
Veröspatak in Siebenbürgen . .	—	anstehend	—	—	38,74	(24)

Betrachtet man die angestellten Analysen näher, so ergiebt sich als allgemeines Resultat, dafs bei denselben in dem natürlich vorkommenden Golde an eine Verbindung von Gold und Silber nach bestimmten Proportionen gar nicht zu denken sey. Scheinen einige Körner auch wohl nach solchen Proportionen zusammengesetzt zu seyn, so ist doch die Mehrzahl gar nicht damit in Uebereinstimmung zu bringen, und die vollständigen Uebergänge, die sich von einem Verhältnifs zum andern finden, beweisen am besten, dafs die bestimmten Verhältnisse hier gar nicht existiren. Und diefs ist eben so der Fall bei den Verbindungen, die nur wenig Silber enthalten, wie bei denen, die viel Silber enthalten, und eben so bei den Legirungen, die im Goldsande vorkommen, als bei solchen, die auf der ursprünglichen Lagerstätte selbst gebrochen sind.

Diefs Resultat ist aber dem ganz entgegen, was sich aus den oben angeführten Klaproth'schen und Boussingault'schen Analysen ergiebt. Betrachtet man indessen die erstere Analyse näher, so sieht man, dafs sie hier nicht viel entscheiden kann. Klaproth hatte das Electrum oder silberhaltige Gold von Schlangenberg erst mit Salpetersäure und dann mit Königswasser digerirt, um, wie er anführt, es von dem damit verwachsenen freien Silber oder Gold zu befreien, das so »gereinigte Electrum« mit Borax zu einer Kugel und dann erst mit Silber geschmolzen, und auf die gewöhnliche Weise analysirt. Aber mit dem Electrum kommt, so viel ich weifs, nie freies Silber oder freies Gold vor. Substanzen, die so viel Verwandtschaft zu einander haben, wie Silber und Gold, verbinden sich mit einander, aber kommen nicht mechanisch neben einander vor. Anders ist es mit Gold und Platin, die nicht chemisch mit einander verbunden vorzukommen scheinen, da weder von Berzelius bei der Analyse des Platins in demselben Gold, noch von mir bei der Analyse des natürlich vorkommenden Gol-

des in demselben Platin gefunden ist; wohl aber mechanisch neben einander vorkommen, wie an mehreren Körnchen, sowohl vom südlichen als nördlichen Ural, die Hr. v. Humboldt und ich von der Sibirischen Reise mitgebracht haben, zu sehen ist.

Wenn also Klaproth das Electrum von Schlangenberg erst mit Salpetersäure und dann mit Königswasser digerirt hat, so hat das erstere dem Electrum Silber, das letztere Gold entzogen. Es kann seyn, dafs das Königswasser gerade so viel Gold aufgelöst, als die Salpetersäure blosgelegt hatte, und dafs die Analyse auf diese Weise dennoch ein richtiges Resultat gegeben hat; nur bleibt sie verdächtig, und kann nicht als Beweis zur Unterstützung einer Ansicht angeführt werden.

Weniger ist es erklärlich, weshalb nach den Boussingault'schen Analysen die natürlich vorkommenden Legirungen von Gold und Silber stets Verbindungen nach bestimmten Proportionen sind. Das ist hier kein Zufall, denn nicht nur einige, sondern alle Analysen stimmen damit, und stimmen ganz vortrefflich. Boussingault hat meistentheils die Analysen durch Cupellation gemacht, ein Verfahren, welches gewöhnlich angewendet wird, und wenn gleich er sehr häufig nur das Gold und nicht auch das Silber bestimmt hat, so ist diefs doch auch bei anderen Analysen geschehen. Es kann aber seyn, dafs Boussingault unter vielen Analysen nur die herausgehoben hat, die seiner Ansicht günstig waren; denn dafs auch in Columbien Legirungen vorkommen, die Gold und Silber in unbestimmten Verhältnissen enthalten, beweist die Analyse des Goldes von Titiribi, die ich angestellt habe. Ich fand darin nur 23,12 Silber, eine Verbindung von 1 Atom Silber und 3 Atomen Gold enthält aber 26,6 Silber. Boussingault, der das Gold von demselben Fundorte untersucht hat, fand auch 26 Proc. Silber darin. Leider habe ich meine Analyse, durch die schöne goldgelbe Farbe des Goldes von Titiribi verführt,

mit Königswasser angestellt, ein Verfahren, das bei dem grofsen Silbergehalt immer mifslich war; aber das Gold war vor der Analyse zu den dünnsten Plättchen ausgeschlagen, und das erhaltene Chlorsilber löste sich, bis auf einen kleinen Rückstand von Quarz, in Ammoniak vollkommen auf, so dafs ich nicht Ursache habe dem Resultate der Analyse zu mifstrauen. Da das untersuchte Stück sich von Hrn. v. Humboldt herschreibt, so ist auch an der Aechtheit des Fundorts nicht zu zweifeln.

Gold und Silber kommen also auch in unbestimmten Verhältnissen mit einander verbunden vor, woraus nun mit Bestimmtheit folgt, dafs Gold und Silber *isomorphe Körper* sind. Aus der Betrachtung der Krystallformen des Goldes und des Silbers war diefs Resultat nicht unmittelbar abzuleiten. Die Formen dieser Metalle gehören zum regulären Krystallisationssystem, und es ist bekannt, dafs Körper, die die verschiedenste chemische Zusammensetzung haben, in eben diesen Formen krystallisiren, indessen machte doch die grofse Uebereinstimmung in den Formen von Gold und Silber, unter denen gewisse, die sonst beim regulären System häufig vorkommen, ganz ausgeschlossen sind, und andere auf gleiche Weise nur beim Gold und Silber vorkommen, und die gleichen Structurverhältnisse des Goldes und des Silbers, den Isomorphismus dieser beiden Metalle immer sehr wahrscheinlich.

Ganz *reines Gold* habe ich unter dem gediegenen Golde, welches ich analysirt habe, nicht gefunden, wird auch von Boussingault nicht angegeben, und scheint also wohl nicht vorzukommen. Das natürlich vorkommende Gold enthält immer wenigstens noch etwas Silber und kleine Mengen von Kupfer und Eisen. Nach Boussingault enthielt das Gold, welches am wenigsten Silber enthält, noch 2 Proc. Silber; am Ural findet sich eine Goldabänderung, welche noch weniger Silber enthielt, nämlich nur 0,16 Proc. Sie enthielt dafür von allen un-

tersuchten Goldproben das meiste Kupfer, nämlich 0,35 Procent. Die fremden Beimengungen zusammen betragen bei ihr noch nicht ½ Procent. Der Gehalt an reinem Golde beträgt 98,96 Procente.

Das *specifische Gewicht* des natürlich vorkommenden Goldes steht mit seinem Silbergehalte in umgekehrtem Verhältnifs, je gröfser jenes ist, je kleiner dieser.

Bei	0,16	Silbergehalt ist das spec. Gew.	=19,099 (17)
-	5,23	- - - - -	=18,440 (3)
-	8,35	- - - - -	=17,955 (2)
-	9,02	- - - - -	=17,588 (4)
-	10,65	- - - - -	=17,484 (5)
-	12,07	- - - - -	=17,402 (10)
-	13,19	- - - - -	=16,869 (6)
-	16,15	- - - - -	=17,061 (1)
-	38,38	- - - - -	=14,556 (23) *)

Das Gold von No. 6. macht von dieser Regel eine Ausnahme; ich mufs noch unentschieden lassen, worin dieselbe ihren Grund hat. Sie scheint nicht auf einem Fehler im specifischen Gewichte zu beruhen, denn das Stück wurde geschmolzen, und hatte dann ein spec. Gewicht 16,964, welches immer noch zu gering wäre, auch nicht auf einem Fehler in der Analyse, denn das Stück wurde für dieselbe durchgeschnitten, und beide Stücke analysirt, und in dem einen 13,19, in dem andern 13,03 Procente Silber gefunden.

Boussingault fand bei dem specifischen Gewichte des Columbischen Goldes noch viel gröfsere Anomalien. Das gediegene Gold von

Malpaso enthält Silber	11,76	spec. Gew.	14,706
Rio Sucio - -	12,06	- -	14,690
Marmato - -	26,48	- -	12,666
St. Rosa de Osos enthält Silber	35,07	- -	14,149

Das geringe specifische Gewicht von Verbindungen von Gold mit 12 Proc. Silber, das nur wenig höher ist,

*) Das Stück war hier vorher geschmolzen

als das einer Verbindung mit 35 Silber; ferner das geringe spec. Gewicht einer Verbindung von 26,48 Silber, in Vergleich mit der von 35,07 Silber machen diese Bestimmungen der spec. Gewichte sehr auffallend, und die Richtigkeit derselben sehr zweifelhaft.

Das Gold von Schabrowski, welches fast reines Gold ist, hat auch fast das spec. Gew. des reinen Goldes. Das spec. Gew. des Goldes, wenn es geschmolzen war, fand ich zuweilen höher als das spec. Gewicht des Goldes im natürlichen Zustande. Es ist mir doch wahrscheinlich, dafs dieser Unterschied nur von Höhlungen im Innern der Stücke herrührt, und dafs das gediegene Gold im natürlichen und geschmolzenen Zustunde ein und dasselbe specifische Gewicht hat. Ich habe mich selbst davon überzeugt, dafs gröfsere Stücke im Innern oft kleine Höhlungen haben, die mit Brauneisenocher ausgefüllt sind. Eine weitere Ausführung dieses Gegenstandes behalte ich mir indessen vor.

Was das *Gold vom Ural* besonders betrifft, so ergiebt sich aus den angestellten Analysen, dafs die verschiedenen Körner einer und derselben Wäsche doch eine verschiedene chemische Zusammensetzung haben, ein und dasselbe Korn dagegen in seinen verschiedenen Theilen eine gleiche Zusammensetzung hat. Diefs ergiebt sich aus den Analysen 1, 2, 3, 4 des Goldes von Boruschka, welches verschiedene Körner aus einer und derselben Wäsche waren. Das eine enthielt 5,23 Proc. Silber, das 2te 8,35, das 3te 9,02, und das 4te 16,15; das letztere aus den Analysen 11, 12, 13 und 6 und 7, nach welchem die Theile der durchgeschnittenen Stücke eine gleiche chemische Zusammensetzung haben, indem die kleinen Verschiedenheiten, die bei dem Silbergehalte statt finden, von den unvermeidlichen Fehlern der Analyse herrühren.

Auch das Gold aus verschiedenen Stellen der Grube hat eine verschiedene chemische Zusammensetzung, wie

sich

sich aus den Analysen 8, 18, 19 des Goldes aus den Gruben von Beresow ergiebt. Der Silbergehalt der drei Proben ist zwar nicht sehr verschieden, aber doch auch nicht gleich, und beträgt 8,03, 7,02 und 5,94 Proc. Verbindungen, die isomorphe Substanzen enthalten und von den verschiedenen Fundorten ganz verschieden zusammengesetzt sind, pflegen sonst von einem und demselben Fundorte eine gleiche Zusammensetzung zu haben. Man hätte daher erwarten können, dafs auch das Gold aus den Gruben von Beresow unter einander eine gleiche Zusammensetzung hat. Diese Gruben sind indefs sehr weitläufig, man baut in denselben auf eine grofse Menge von Gängen, die in einem Districte, der gröfser als eine geogr. Quadratmeile ist, aufsetzen, zumal wenn man noch die alten Gruben von Uktufs dazu rechnet, woher das Stück No. 19 war. Diese Gänge können zu verschiedenen Zeiten gebildet seyn, und es kann daher auf den verschiedenen Gängen Gold von verschiedener Zusammensetzung vorkommen, wenn es auch auf einem und demselben Gange sich gleich bleibt. Diefs aber auszumachen, fehlte es mir an Material; doch wäre diese Untersuchung für die Art und Weise der Verbreitung des Goldes in dem Goldsande nicht ohne Interesse.

Man ist sowohl am Ural, als auch in Petersburg allgemein der Meinung, dafs das Waschgold reiner sey, und weniger Silber und andere fremde Beimischungen enthalte, als das aus den Gruben gewonnene Gold. Diefs ist jedoch nicht durchaus der Fall, wie sich ergiebt, wenn man sowohl die Tabelle, Seite 167, welche den durchschnittlichen Gehalt des gewonnenen Goldes in einem halben Jahre, als auch meine Analysen einzelner Stücke vergleicht. In der angeführten Tabelle ist der Gehalt des Goldes an Silber von zwei Gruben angegeben, von Katharinenburg (Beresow) und von Newiansk. Der Gehalt des ersteren beträgt hiernach 12,6 Proc., der des letzteren 7,05 Proc. Es ist wahr, dafs der durchschnittliche Silbergehalt des Goldes aus den Gruben bei Katharinen-

burg gröfser ist, als er in dieser Tabelle bei einem Waschgolde vorkommt, indem der Silbergehalt dieses Waschgoldes nur bis zu 11,28 Proc. steigt (bei dem Waschgolde von Bissersk), und bei dem Waschgolde von anderen Stellen bis zu 4,90 Proc. sinkt (bei dem von Schaitansk); aber dafür ist der Silbergehalt des Goldes aus der Grube von Newiansk geringer als der von dem Waschgolde mancher andern Districte, und selbst geringer als der Silbergehalt des Waschgoldes, welches in der Nähe der Gruben von Newiansk gewonnen wird, indem letzterer 7,05, ersterer 8,58 Proc. beträgt, und man hat hier immer nur Grubengold von zwei Stellen mit Waschgold von vielen Stellen verglichen, so dafs das Resultat immer unvortheilhaft für das Grubengold ausfallen mufs. Der mittlere Gehalt giebt nach dieser Tabelle für das Grubengold 9,32 Proc., für das Waschgold 8,37 Proc. Silber.

Nach meinen Analysen stellt sich der mittlere Gehalt für das Grubengold zu 7,91 Proc. und für das Waschgold zu 8,97 Silber.

So wenig ausgemacht also auch noch das angenommene Factum, dafs das Waschgold vom Ural feiner sey als das Grubengold, zu seyn scheint, so hat man doch schon Hypothesen zur Erklärung desselben aufgestellt. Man hat gemeint *), dafs, da doch wahrscheinlicherweise das Waschgold vom Grubengold durch Zerstörung der Berge, die es enthielten, herrühre, ersteres seine gröfsere Reinheit der Chlorwasserstoffsäure und der Schwefelsäure, die im Meerwasser enthalten, und in welchem das Waschgold Jahrhunderte lang herumgespühlt sey, verdanke. Dadurch sey das Silber und Kupfer dem Waschgolde genommen worden, auf eine ähnliche Weise, wie die Goldschmiede das verarbeitete Gold durch die bekannten Processe auf der Oberfläche feiner machten.

*) Férussac, *Bulletin des sciences naturelles et de géologie*, *N.* 8. *Aout* 1829, *p.* 185.

Eine Erklärung freilich, die mehr noch gegen alle Erfahrungen in der Chemie streitet, als das Factum selbst unbegründet ist. Der Urheber jener Meinung schlägt vor, von gröſseren Stücken Waschgold, deren man doch bis zu einer Gröſse von fast 25 Pfunden gefunden hat, Stücke vom Innern und von der Oberfläche zu analysiren; wenn man fände, daſs das Gold im Innern des Waschgoldes mehr Silber enthielte als an der Oberfläche, so meinte er, brauche seine Theorie über die Ursache der gröſseren Feinheit des Waschgoldes keine Gegner zu fürchten.

Man hat indeſs durchaus nicht Ursach anzunehmen, daſs das Gold in dem Waschgolde eine chemische Veränderung erlitten habe. Es scheint mir daher interessanter zur Feststellung oder Widerlegung der Behauptung, daſs das Waschgold feiner sey als das Grubengold, Gold aus verschiedenen Teufen eines und desselben Ganges zu analysiren, um zu sehen, ob das Gold in demselben verschieden zusammengesetzt ist, und wenn sich dieſs bestätigt, ob sich in dem Silbergehalt der verschiedenen Teufen bestimmte Regeln feststellen lassen. Fände sich, daſs das Gold in den oberen Teufen reiner wäre als in den unteren, und fände sich dieſs Factum bei mehreren Gängen bewährt, so wäre es auch wahrscheinlich, daſs das Waschgold feiner sey als das Grubengold, da ersteres doch durch die Zerstörung der oberen Teufen der Gänge in den die Thäler bedeckenden Sand gekommen ist Die vielen Goldgänge von Beresow, der noch darauf bestehende Bergbau würde eine vortreffliche Gelegenheit dazu darbieten.

II. *Ueber die Krystallformen des Goldes und des Silbers,*
von Gustav Rose;

Die Krystalle des Goldes und des Silbers gehören, wie bekannt, zum regulären Krystallisationssystem; sie sind jedoch ziemlich selten, wenigstens deutlich, so häufig beide Substanzen auch sonst vorkommen. Viel häufiger als krystallisirt findet sich das Gold derb in meistens kleinen Parthien und in blattförmigen, selten in zahn- und haarförmigen Formen. Das Silber kommt in den letzteren vorzugsweise vor, und findet sich aufserdem derb, gestrickt und baumförmig. Ich habe nur aus drei Gegenden Gelegenheit gehabt Krystalle von Gold zu sehen, nämlich aus Siebenbürgen, Brasilien und vom Ural. Deutliche Krystalle von Silber sind noch seltener, ich kenne sie hauptsächlich nur von Kongsberg in Norwegen.

Die Goldkrystalle aus *Siebenbürgen* finden sich anstehend in den Gruben von Veröspatak, Boitza, Zalathna etc. Sie haben immer eine sehr blasse Farbe, wie das Stück No. 24, welches ich analysirt habe, und das 38,74 Proc. Silber enthielt. Die Krystalle sind Würfel (Fig. 2 Taf. I), Combinationen von Würfel und Octaëder mit vorherrschenden Würfelflächen (Fig. 3 Taf. I) seltener mit vorherrschenden Octaëderflächen (Fig. 4), Combinationen des Leucitoids ($a : a : \frac{1}{3}a$) mit dem Octaëder mit vorherrschenden Leucitoidflächen (Fig. 7), und Pyramidenwürfel ($a : \frac{1}{2}a : \infty a$) (Fig. 8). Zwillingskrystalle sind unter ihnen häufig. Die Individuen haben, wie bekannt, eine Octaëderfläche in gleicher Lage, und sind in der Regel nur an einander gewachsen. Sie finden sich am häufigsten bei den Leucitoiden, seltener bei den Pyramidenwürfeln, und noch seltener bei den Octaë-

dern. Die ersteren sind Fig. 15 Taf. II dargestellt *), und sind schon von Haidinger beschrieben. Die Zwillingskrystalle der Pyramidenwürfel bilden 6seitige Pyramiden, da bei dem Pyramidenwürfel ($a : \frac{1}{2}a : \infty a$), welcher allein nur beim Golde bekannt ist, die zweierlei Kanten unter einander gleich sind. Aehnliche Zwillingskrystalle kommen auch bei dem gediegenen Kupfer vor, wo sie schon von Haüy angeführt waren, sie aber zuerst von Haidinger richtig erklärt sind. Bei den Goldkrystallen habe ich nicht bloſse Pyramiden gesehen, die Individuen des Zwillingskrystalls waren immer Combinationen vom Pyramidenwürfel mit dem Würfel und Octaëder (Fig. 16 Taf. I). Die Neigung der Flächen dieser 6seitigen Pyramiden in den Endkanten beträgt 143° 8′, in den Seitenkanten 102° 56′, gegen die geradangesetzte Fläche, welches die Octaëderfläche ist, 141° 28′, gegen die Würfelflächen 153° 26′, womit die gemessenen Winkel fast vollkommen übereinstimmten.

Die Zwillingskrystalle der Combination, Fig. 4 Taf. I, des Octaëders mit dem Würfel scheinen beim Golde am seltensten zu seyn. An demselben Stücke, wo ich sie beobachtete, fand sich auch die Fig. 12 Taf. I dargestellte Gruppe. Es ist eine Verwachsung von fünf Individuen, die alle nach demselben Gesetz mit einander verbunden sind, so daſs das erste sich zum zweiten verhält wie das zweite zum dritten, das dritte zum vierten und das vierte zum fünften. Die Krystalle liegen alle einer und derselben Ebene parallel, welches eine Granatoëderfläche ist, die auch die Spitze, in der sich alle treffen, gerad abstumpfen würde. Wenn alle Krystalle gleich groſs wären, so würde mit dem fünften Individuum sich

*) Sie sind so gezeichnet, daſs die Octaëderfläche, mit welcher sie verbunden sind, fast horizontal, und die Umdrehungsaxe fast vertical gestellt ist. Durch die Lage der Buchstaben auf den Flächen ist die Normalstellung eines jeden Individuums angegeben.

der Kreis noch nicht völlig schliefsen, denn die Neigung zweier Octaëderflächen, die sich in einer Ecke gegenüberliegen, beträgt 70° 32', welcher Winkel, fünf Mal genommen, gleich ist 352° 40'. Es würde in diesem Fall zwischen dem ersten und fünften Individuum ein Zwischenraum von 7° 20' bleiben, der aber von diesen ausgefüllt wird; die Fläche, in der sich das erste und fünfte Individuum treffen, ist eine Fläche des Leucitoids (a : a : $\frac{1}{3}$a), der einspringende Winkel, den sie unter einander bilden, beträgt 148° 24', jeder der vier anderen einspringenden Winkel zwischen den übrigen Krystallen 141° 4'. Diese Zwillingsverwachsung ist eigenthümlich, und bisher noch nicht bei andern Krystallen bemerkt worden. Das Stück, auf welchem ich sie beobachtete, ist aus der Gegend von Boitza, und befindet sich in der sehr ausgezeichneten Mineraliensammlung des Hrn. Tamnau in Berlin.

Die Goldkrystalle aus *Brasilien*, welche sich in dem Königl. mineralogischen Museum von Berlin befinden, sind lose, und aus dem Goldsande von Cerro do Frio, in der Provinz Villa ricca, haben aber dessen ungeachtet noch recht scharfe Ecken und Kanten. Sie haben eine goldgelbe Farbe, enthalten aber ebenfalls Silber. Sie haben die Fig. 6 Taf. I abgebildete Form, und sind Combinationen vom Granatoëder mit Würfel und Octaëder, an welchen aber nicht immer die Granatoëderflächen, wie in der Zeichnung, sondern auch nicht selten die Flächen des Octaëders vorherrschen.

Unter den Krystallen vom *Ural* kommen die ausgebildetsten Formen vor. Krystalle finden sich dort theils unter dem Waschgolde, theils in dem in den Gruben von Beresow anstehenden Golde. Unter dem ersteren kommen besonders das Granatoëder (Fig. 5 Taf. I) und Octaëder, seltener der Würfel und Pyramidenwürfel (a : $\frac{1}{2}$a : ∞a) vor; sie haben eine goldgelbe, zuweilen eine messinggelbe Farbe. Die Goldkrystalle aus den Gruben von Beresow sind viel complicirter, sie enthalten

oft eine Menge Flächen, sind dabei nur klein, höchstens wie eine kleine Erbse groſs, und durch die unregelmäſsige Ausdehnung der Flächen oft schwer zu entziffern. Die Krystalle, welche ich aus Sibirien mitgebracht habe, hatten die Fig. 10 Taf. I abgebildete Form; Fig. 11 ist die horizontale Projection einer Ecke derselben. Es sind Combinationen von sechs Formen, nämlich:

1. des Octaëders $0 = (a : a : a)$
2. des Würfels $a = (a : \infty a : \infty a)$
3. des Granatoëders $d = (a : a : \infty a)$
4. des Leucitoids $\frac{0}{3} = (a : a : \frac{1}{3} a)$
5. des 6mal-8flächners $n = (a : \frac{1}{2} a : \frac{1}{4} a)$
6. des 6mal-8flächners $t = (a : \frac{1}{11} a : \frac{1}{19} a)$

Die Flächen des Octaëders sind vorherrschend, die Flächen des Würfels und Granatoëders erscheinen als Abstumpfungsflächen der Ecken und Kanten des Octaëders, die übrigen Flächen, wie aus der Ansicht der Figur am besten hervorgeht. Diese letzteren Flächen wurden alle durch die Messung bestimmt, da ein Parallelismus von Kanten zur Bestimmung derselben entweder gar nicht da war, oder derselbe nicht ausreichte. Das Leucitoid war wirklich $(a : a : \frac{1}{3} a)$; ich fand die Neigung von $\frac{0}{3}$ zur Würfelfläche ganz nahe 154° 46′, und zur Octaëderfläche ganz nahe 150° 30′. Die beiden 6mal-flächner sind am Golde noch nicht beobachtet; der erstere *n* kommt am häufigsten beim Fluſsspath vor, der letztere *t* ist überhaupt noch nicht bekannt gewesen. Die Flächen beider 6mal-8flächner waren zwar sehr klein, doch lieſs sich der erstere sehr gut bestimmen, da seine Flächen sehr glatt und glänzend waren, und derselben Neigungen mit dem Reflexionsgoniometer recht gut gemessen werden konnten; viel schwieriger der letztere, wo die Flächen weniger glänzend und überdieſs noch kleiner waren.

Ich habe die Neigung einer Fläche des 6mal-8flächners *n* gemessen:

1) gegen die Würfelfläche,

2) gegen die Octaëderfläche,
3) gegen eine andere, von welcher sie durch die Fläche des Leucitoids getrennt ist,
4) gegen eine andere, von welcher sie durch zwei Flächen des 6mal-8flächners *t* getrennt ist.

Bei der Annahme, dafs die Flächen *n* die Flächen des 6mal-8flächners (a : $\frac{1}{2}$a : $\frac{1}{4}$a) sind, betragen diese Winkel der Reihe nach 150° 48′, 151° 52′, 162° 14′ und 154° 46′, mit welchen berechneten Winkeln die gemessenen so nahe übereinstimmten, dafs die kleinen Abweichungen nur Beobachtungsfehler seyn konnten. Wenn die Granatoëderflächen gröfser wären, so würde die Fläche dieses 6mal-8flächners die angränzende Granatoëder- und Leucitoidfläche in parallelen Kanten schneiden, was indefs an den Krystallen auf diese Weise nicht zu sehen war. Die Kanten, welche die Flächen des 6mal-8flächners mit dem Leucitoid (a : a : $\frac{1}{3}$a) bilden, divergiren nach der Würfelfläche zu. Es ist dieses Leucitoid also ein stumpferes als das, welches auf dem 6mal-8flächner parallele Kanten bilden würde, und dessen Zeichen (a : a : $\frac{3}{8}$a) wäre.

Die Neigungen der Flächen des anderen 6mal-8flächners *t* konnten nur annähernd und auf die Weise gemessen werden, dafs ich ein brennendes Licht etwa einen Fufs vom Reflexionsgoniometer setzte und die Flamme des Lichts spiegeln liefs. Ich fand auf diese Weise die Neigung einer Fläche des 6mal-8flächners gegen eine andere angränzende in einer Kante, die über der Granatoëderfläche liegt, 174° 19′ bis 174° 44′, die Neigung gegen die Granatoëderfläche zwischen 164° 10′ bis 164° 30′, gegen die Octaëderfläche von 142° 50′ bis 143° 10′. Nimmt man an, wie oben gethan ist, dafs der 6mal-8flächner den Ausdruck (a : $\frac{1}{11}$a : $\frac{1}{19}$a) hat, so wären diese Winkel 174° 47′, 164° 51′ und 144° 32′. Die Uebereinstimmung mit den gemessenen Winkeln, wenn gleich diese selbst nicht sehr genau sind, ist also nicht so grofs, dafs es

nicht wünschenswerth wäre, durch schärfere Messungen an besseren Krystallen das erhaltene Resultat zu prüfen, zumal da der gefundene Ausdruck (a : $\frac{1}{11}$a : $\frac{1}{19}$a) nicht so einfach ist, dafs er durch seine Form von seiner Richtigkeit überzeugte. Es finden sich indessen zu Beresow Krystalle, wo die Flächen *t* gröfser und deutlicher sind, als Fig. 10 Taf. I, und wo sie sich allein mit den Granatoëder- und Octaëderflächen finden. Ich habe dergleichen Krystalle (wie sie Fig. 9 Taf. I gezeichnet sind) sehr schön bei Hrn. Bergbauptmann Kowanko in Petersburg gesehen, und es wird an solchen Krystallen nicht schwer seyn, die Flächen *t* genau zu bestimmen. Ist der Ausdruck (a : $\frac{1}{11}$a : $\frac{1}{19}$a) richtig, so würde das Leucitoid, dessen Flächen durch die Kanten gelegt werden könnten, die die Flächen *t* und *n* unter einander bilden (a : a : $\frac{3}{7}$a), und der Pyramidenwürfel, dessen Flächen durch zwei andere solche Kanten gelegt werden könnten (a : $\frac{3}{5}$a : ∞a) seyn, Ausdrücke, die nicht sehr complicirt sind. Der Pyramidenwürfel, dessen Flächen die Kanten von *n*, die über der Granatoëderfläche liegen würden, gerade abstumpfte, ist der Pyramidenwürfel (a : $\frac{1}{2}$a : ∞a).

Die beschriebenen Krystalle safsen mit kleinen derben Partbien auf und in Quarz. Ich verdankte das sehr ausgezeichnete Stück der Güte des Hrn. Karelin in Orenburg. Ich habe die Krystalle heruntergenommen, und die derben Parthien analysirt, sie enthalten 8,03 Proc. Silber *).

Die Krystalle vom gediegenen *Silber*, wie sie in den verschiedenen Gruben von *Kongsberg* vorkommen, sind Octaëder (Fig. 1 Taf I), Würfel (Fig. 2 Taf. I), und die Combinationen vom Leucitoid (a : a : $\frac{1}{3}$a) mit dem Octaëder, an welchem die ersteren Flächen sehr vorherrschen (Fig. 7 Taf. I) **). Die Krystalle sind auch öfter

*) Siehe die achte Analyse der vorigen Abhandlung.

**) Das Leucitoëder (a : a : $\frac{1}{2}$a), welches in manchen Handbüchern

Google

zu Zwillingskrystallen verbunden, sie sind wie beim Golde nur an einander gewachsen, und sind Zwillingskrystalle von Würfeln (Fig. 13 Taf. I), wie sie mir beim Golde nicht bekannt sind, und von den Leucitoiden (Fig. 15 Taf. I), zu welchen aber auch noch die Octaëderflächen untergeordnet hinzutreten.

Die Formen des gediegenen Silbers sind also die nämlichen, wie sie auch beim gediegenen Golde vorkommen. Dieselben Formen, weil sie zum regulären Krystallisationssystem gehören, kommen zwar auch anderen Mineralien von ganz verschiedener Zusammensetzung zu, doch findet sich unter denselben eine, nämlich die Combination des Leucitoids mit dem Octaëder, an welcher die Flächen des letzteren untergeordnet vorkommen, welche auf diese Weise noch bei keinem anderen Mineral beobachtet ist. So häufig sich auch sonst die Flächen des Leucitoids finden, so treten sie doch gewöhnlich nur untergeordnet zu anderen Formen, besonders dem Octaëder und Granatoëder hinzu, wie diefs beim Magneteisenstein, Zeilanit, Flufsspath, Pyrochlor *) etc. der Fall ist. Das herrschende Vorkommen des Leucitoids zeichnet die Krystalle des Goldes und des Silbers besonders aus. Da nun auch die Structurverhältnisse dieser Metalle dieselben sind, das eine sowohl wie das andere keine Spur von Spaltungsrichtungen zeigt, so kann man wohl annehmen, dafs Gold und Silber *isomorph* sind, so schwer diefs auch sonst bei Körpern, deren Formen zum regulären System gehören, durch die Formen allein auszumachen ist. Beim Golde kommen zwar noch Formen vor, die beim Silber noch nicht beobachtet sind, da indefs das Gold häufiger kystallisirt vorkommt, als das Silber, so

der Mineralogie sowohl beim Golde, als auch beim Silber angegeben wird, habe ich nicht beobachtet.

*) Ich habe dergleichen Krystalle vom Ural (vom Ilmengebirge bei Miask) mitgebracht.

ist es auch wahrscheinlich, dafs die dem Silber in Vergleich mit dem Golde noch fehlenden Formen sich finden werden, wenn noch mehrere Localitäten von krystallisirtem Silber bekannt seyn werden.

In der vorstehenden Abhandlung ergab sich aus meinen Analysen das Resultat, dafs in dem natürlich vorkommenden Gold immer Silber enthalten, und dieses mit dem Golde in ganz unbestimmten Verhältnissen verbunden sey. Da es sich nun durch die Untersuchung der Krystallformen ergiebt, dafs Gold und Silber isomorph sind, isomorphe Körper sich aber in allen Verhältnissen mit einander verbinden können, so bestätigt die Beobachtung der Krystallformen das aus den Analysen hervorgegangene Resultat.

Erklärung der Figuren.

Gold	Silber
1. aus dem Goldsand von Nischne-Tagil im Ural	1. aus den Gruben von Kongsberg in Norwegen und Wittichen im Fürstenberg'schen.
2. aus den Gruben von Veröspatak in Siebenb.	2. aus den Gruben von Kongsberg.
3. dito	
4. aus d. Grub. von Boitza in Siebenbürgen	
5. aus dem Goldsand von Katharinenb. im Ural	
6. aus dem Goldsand von Cerro do Frio in Brasil.	
7. aus den Gruben von Veröspatak	
8. aus dem Goldsand von Katharinenburg	
9—11. aus den Gruben von Beresow im Ural	

Gold	Silber
12. aus den Gruben von Boitza, Zwillingsgruppe von fünf Krystallen	
13.	13. aus den Gruben von Kongsberg.
14. aus den Gruben von Boitza, Zwillingskryst.	14. dito.
15. aus den Gruben von Veröspatak, Zwillingskrystall	15. dito.
16. aus den Gruben in der Gegend v. Abrudbanya	

III. *Ueber die Natur des Lichts in den beiden durch die Doppelbrechung des Bergkrystalls hervorgebrachten Strahlen;*

von G. B. Airy,

Professor der Astronomie und Physik an der Universität zu Cambridge.

(Aus dem vom Verfasser übersandten vierten Bande der *Transactions of the Cambridge Philosophical Society.*) *)

In diesem Aufsatze beabsichtige ich, einige Vermuthungen über die Natur des Lichts der beiden durch die Dop-

*) Wiewohl die vorliegende Arbeit des, als Mathematiker längst rühmlich bekannten, Hrn. Airy sicher meines Lobes nicht bedarf, die Wichtigkeit der in ihr niedergelegten neuen Thatsachen und theoretischen Betrachtungen einem Jeden, der speciellen Studium von der Optik macht, sogleich in die Augen springen wird, so glaube ich sie doch den Lesern hier noch besonders empfehlen zu müssen, da sie eine, in keinem der bisher erschienenen Werke über das Licht zu findende Gelegenheit giebt, sich gründliche Einsicht in eine Klasse von Erscheinungen zu verschaffen, die zu den interessantesten und wichtigsten

pelbrechung des Quarzes erzeugten Strahlen vorzutragen, die ihnen zum Grunde liegenden Versuche zu beschreiben, und die zum Vergleiche der Theorie und Erfahrung unternommenen Rechnungen aus einander zu setzen. Wie ich glaube, ist der Gegenstand, mit Ausnahme eines ausgezeichneten Fremden, noch von Niemand beachtet; die Berechnungsart ist mir eigenthümlich, und so viel ich weifs, neu.

Wie bekannt sind die beiden Strahlen, welche durch die Doppelbrechung des Kalkspaths und der meisten anderen doppeltbrechenden Krystalle erzeugt werden, vollkommen polarisirt, der eine nach dem durch den Strahl gelegten Hauptschnitt (oder, wenn es ein zweiaxiger Krystall ist, nach einer Ebene, die gleich geneigt ist gegen die durch den Strahl und die beiden Axen gelegten Ebenen), und der andere nach einer auf diesem Schnitt senkrechten Ebene. Aus der genauen Uebereinstimmung der Depolarisationsphänomene mit den in dieser Hypothese gemachten Berechnungen sind wir zu der Annahme berechtigt, dafs das Gesetz noch gültig bleibt, falls auch die Strahlen so wenig getrennt sind, dafs es schwierig ist, sie bei der gewöhnlichen Beobachtungsweise wahrzunehmen. Nun sind, nach allgemeiner Annahme, die beiden Strahlen des Quarzes auf eben die Weise polarisirt, und von denen des Kalkspaths nur in der Gröfse und Richtung ihrer Trennung verschieden. Kaum hatten indefs Arago und Biot ihre Beobachtungen begonnen, so ergab sich auch schon, dafs die Strahlen, welche in Richtung der Axe durch den Quarz gehen, eine Anomalie darbieten; und

der neuern Optik gehört. Die gegenwärtige Untersuchung des Hrn. Airy (von der es sehr zu wünschen wäre, dafs sie auch auf die zweiaxigen Krystalle ausgedehnt würde) liefert übrigens, wie die in vorigem Band dieser Ann., S. 68 u. 90, mitgetheilten Abhandlungen des verewigten Fresnel, einen abermaligen Beweis von der Fruchtbarkeit der Undulationstheorie, die leider bei uns noch immer zu wenig gekannt ist, und darum nicht gar selten ganz verkannt wird. *P.*

der letztere dieser Beobachter stellte den Unterschied von rechts- und linksgewundenen Quarzkrystallen auf. Durch einen einfachen Versuch *), den ich wiederholt habe, hat **Fresnel** gezeigt, dafs das Licht, welches in Richtung der Axe durch den Quarz geht, nicht aus *einem* Strahl, sondern aus zweien besteht, die sich in gleicher Richtung, aber mit ungleicher Geschwindigkeit bewegen. Er hat überdiefs gefunden, dafs eine neue Lichtart erzeugt wird, wenn man polarisirtes Licht in einem Glas-Parallelepiped mit gewissen Winkeln zwei innere Reflexionen erleiden läfst, und zwar so, dafs die Polarisationsebene einen Winkel von 45° mit der Einfallsebene macht, und dafs diefs Licht genau dem einen oder dem andern der zwei erwähnten Strahlen ähnlich ist, je nachdem die Polarisationsebene auf dieser oder jener Seite der Einfallsebene liegt. Durch eine mathematische Untersuchung, deren mangelnde Stellen ich jedoch nicht zu ergänzen im Stande bin, hat er gezeigt, dafs durch die Wirkung der inneren Reflexionen die gegen die Einfallsebene senkrechten Undulationen um eine Viertelundulation verzögert werden, so dafs die Aethertheilchen, welche ursprünglich (im Zustand des Gleichgewichts, der Finsternifs. *P.*) in gerader Linie liegen, in dem so modificirten Lichte sich jederzeit auf einer kreisrunden Schraubenlinie befinden, und ein jedes von ihnen sich gleichförmig in einem Kreise dreht **). Aus der Natur des er-

*) Es ist nicht leicht diesen Versuch auf eine befriedigende Weise anzustellen, Sind die Axen der Krystalle nicht genau ajustirt, sieht man immer mehrere Bilder. Es ist mir nicht gelungen blofs zwei zu erhalten; allein ich habe die übrigen viel schwächer als die beiden hauptsächlichen gemacht. (Man vergl. darüber den Aufsatz von **Fresnel** in diesen Annalen, Bd. XXI S. 276, besonders S. 279, wo man den erwähnten Versuch beschrieben findet. *P.*)

**) Da ich den mathematischen Beweis über die Natur der Circularpolarisation nicht beurtheilen kann, so werde ich den experimentellen Beweis, der mir dieselbe verständlich gemacht, anführen.

wähnten Versuchs erhellt die Nothwendigkeit der Annahme, daſs in dem rechtsgewundenen Quarz die rechtscirculare, und in dem linksgewundenen Quarz die linkscirculare mit der gröſseren Geschwindigkeit fortgepflanzt werde. Ich habe die meisten von Fresnel's Versuchen über diesen Gegenstand wiederholt und abgeändert, und mich vollkommen von der Richtigkeit seiner Ansichten überzeugt.

Wenn nun bei dem Versuche mit dem Glas-Parallelepiped dessen Refractionsebene einen andern Winkel als 45° mit der ursprünglichen Polarisationsebene macht, so bleibt die Gröſse der Undulationen parallel und senkrecht gegen die Refractionsebene des Parallelepipeds nicht mehr gleich, doch wird der Wechsel ihrer Perioden noch derselbe seyn wie zuvor. Die Verschiebung der Aethertheilchen wird noch durch eine Schraubenlinie dargestellt, allein jetzt muſs man sich dieselbe, statt auf einen kreisrunden, auf einen elliptischen Cylinder gezogen denken. Diese Modification kann mit Recht (wie auch von Fres-

1) Wenn das Licht mit der Zerlegungsplatte (d. h. mit dem zweiten Spiegel des gewöhnlichen Polarisationsapparats (*P*)) oder mit einem Turmalin aufgefangen wird, zeigt es, wie man auch die Platte oder den Turmalin um den einfallenden Strahl drehen mag, immer dieselben Erscheinungen. 2) Die Depolarisationserscheinungen sind gleich, in welche Richtung auch die Zerlegungsplatte gedreht wird. 3) Wenn das polarisirte Licht durch zwei solche ähnlich gelagerte Parallelepipede geht, wird die Polarisationsebene um 90° gedreht. 4) Liegen die Parallelepipede aber über Kreuz (d. h. liegen ihre Reflexionsebenen senkrecht gegen einander (*P*)), so bleibt die Polarisationsebene ungeändert. 5) Die Depolarisationsphänomene stimmen mit der Rechnung, gegründet auf die Voraussetzung: daſs in einaxigen Krystallen, wo beim Herumgehen um die Axe die Polarisationsebene des einen Strahls um 360° gedreht wird, die Quadranten abwechselnd um ein Farbenviertel hinaus oder herein geschoben werden, und daſs in zweiaxigen Krystallen, wo beim Herumgehen um die Axe die Polarisationsebene nur um 180° gedreht wird, die Halbkreise abwechselnd auf gleiche Weise verändert werden.

nel geschehen ist) elliptische Polarisation genannt werden *). Seitdem ist dieser Ausdruck vom Dr. Brewster gebraucht, um die Natur des (mit diesem wahrscheinlich identischen oder sehr nahe verwandten) von Metallflächen reflectirten Lichts zu bezeichnen **). Sollte zwischen beiden Lichtarten eine Verschiedenheit gefunden werden, so stehe ich nicht an, den Namen Circularpolarisation auf die vorhin beschriebene Art zu übertragen, da er dieser im eigentlichen Sinne zukommt.

Ich bin nun im Stande, meine Hypothesen über die Natur des Lichts der beiden Strahlen des Quarzes aus einander zu setzen. Sie sind:

1) Dafs der gewöhnliche Strahl aus elliptisch polarisirtem Lichte bestehe, und die grofse Axe seiner Ellipsen senkrecht gegen den Hauptschnitt liege; umgekehrt dafs der ungewöhnliche Strahl aus elliptisch polarisirtem Lichte bestehe, dessen Ellipsen ihre grofse Axe in dem Hauptschnitt liegen haben.

2) Dafs, wenn der gewöhnliche Strahl rechts elliptisch

*) Wenn ich es wagen wollte, diejenige Entdeckung Fresnel's zu bezeichnen, welche unter allen seinen wundervollen Erweiterungen der Lichtlehre den gröfsten practischen Werth besitzt, so entschiede ich mich für seine Methode, circular und elliptisch polarisirtes Licht durch innere Reflexion des linear polarisirten in Glas oder Wasser hervorzubringen. Er hat uns darin ein Mittel zur Erzeugung eines Lichts geliefert, dessen Gesetze eben so gut als die des linear polarisirten gekannt sind, und das von mehrfachem Gebrauch ist, da es verschiedene Grade von Ellipticität annehmen kann. Die schöne Geometrie von Malus ist vergessen, wenn wir an seine Entdeckung der Lichtpolarisation denken; die weit werthvolleren theoretischen Entdeckungen Fresnel's verlieren ihren Vorrang, wenn sie mit einer Erfindung in Vergleich gestellt werden, welche andere in den Stand setzt, fernere Entdeckungen zu machen.

**) Brewster's Abhandlung findet man in diesen Annal., Bd. XXI (97) S. 219. *P.*

tisch polarisirt ist, der ungewöhnliche Strahl links elliptisch polarisirt sey, und so umgekehrt.

3) Daſs das Verhältniſs der Axen in beiden Ellipsen gleich sey, und daſs es gleich Eins werde, wenn die Richtung der Strahlen mit der Krystallaxe zusammenfällt; daſs dagegen jene Axen, nach einem unbekannten Gesetze, ungleich werden, so wie die Strahlen gegen die Krystallaxe neigen. Die kleine Axe der Ellipsen hat eine merkliche Gröſse, wenn die Strahlen um 10° gegen die Krystallaxe neigen.

4) Daſs der Lauf der Strahlen nach der Refraction durch die von Huyghens für den Kalkspath gegebene Construction bestimmt werden könne, mit dem Unterschiede jedoch, daſs das abgeplattete Sphäroid, welches zur Bestimmung der Lage des ungewöhnlichen Strahles dient, nicht mit der Kugel, welche die Lage des gewöhnlichen Strahls bestimmt, als in Berührung, sondern als gänzlich in derselben enthaltend, gedacht werden müsse.

Diese Hypothesen wurden ursprünglich in dem Wunsche aufgestellt, zwischen der gewöhnlichen und der von Fresnel *) entdeckten besonderen Doppelbrechung längs der Axe ein Bindeglied aufzufinden. Alle Farbenerscheinungen, welche ich beobachtet habe, stimmen vollkommen mit den Resultaten meiner Hypothesen.

Ich muſs erwähnen, daſs ich in den früheren Abhandlungen von Arago und Biot Beobachtungen über manche Einzelnheiten der hier in Gesammtheit betrachteten Erscheinungen angetroffen habe. Allein die Methode, welche diese Physiker (besonders der Letztere) anwand-

*) Wie ich glaube, hat Fresnel sich nicht bestimmt darüber ausgesprochen, ob die beiden Strahlen in der Axe als letzte Zustände des gewöhnlichen und ungewöhnlichen Strahls zu betrachten seyen; denn alle seine Abhandlungen lieſsen mich darüber in Zweifel, ob sowohl der gewöhnliche, wie der ungewöhnliche Strahl, bei sehr kleinen Winkeln mit der Axe, nicht als getheilt in zwei circular polarisirte Strahlen angesehen werden müsse.

ten, nämlich zur Zeit nur ein kleines Stück zu untersuchen, scheint zur Entdeckung der Gesetze des Lichts nicht wohl geeignet. Bei den Versuchen, welche ich beschreiben werde, hängt alles von der Form der farbigen Curven ab, und diese aus der Beobachtung von Bruchstücken entdecken zu wollen, würde ein ganz fruchtloses Unternehmen seyn.

Zu bemerken ist, daſs alle weiterhin angeführten Erscheinungen so beschrieben sind, wie man sie bei Untersuchung mit einer Platte unbelegten Spiegelglases sieht. Braucht man eine Turmalinplatte, so haben die rechts und links liegenden Theile des Bildes dieselbe relative Lage; allein die oberen und unteren sind dann vertauscht.

Erscheinungen.

I. Wenn eine senkrecht gegen die Axe geschnittene Kalkspathplatte mit den über Kreuz gelegten Polarisations- und Zerlegungsspiegeln untersucht wird *), erblickt man das auf Taf. II Fig. 1 abgebildete System von Ringen. Wenn der Zerlegungsspiegel nach dieser oder jener Seite hin weniger als 90° um den einfallenden Strahl gedreht wird, so erscheint das in Fig. 2 abgebildete Ring-System; und, wenn er endlich genau um 90° gedreht wird, sieht man Fig. 3. Die Farbenreihe weicht nicht merklich von Newton's Skale ab, und beginnt mit

*) D. h. Setzt man jene Kalkspathplatte dem polarisirten Lichte aus, welches in dem gewöhnlichen Polarisationsapparat vom ersten Spiegel (die *polarizing plate* des Verfassers) reflectirt wird, so erblickt man im zweiten Spiegel (die *analyzing plate* des Verfassers), wenn dessen Reflexionsebene senkrecht steht auf der des ersten Spiegels, die Fig. 1, wenn sie einen andern Winkel mit derselben macht, die Fig. 2, und wenn sie mit ihr zusammenfällt, die Fig. 3, vorausgesetzt, man habe das Auge dem Spiegel so nahe gebracht, daſs die in dasselbe gelangenden Strahlen merklich convergiren. *P.*

Schwarz. Diefs sind gemeine und bekannte Erscheinungen.

II. Wenn Fresnel's Parallelepiped, gefafst wie es in Fig. 1 Taf. III abgebildet ist, so angebracht wird, dafs es das polarisirte Licht auffängt, und dabei die Reflexionsebene durch die Theilpunkte 45° und 225° geht *), so zeigt der Kalkspath die in Fig. 4 Taf. II abgebildete Erscheinung. Die Ringe sind unterbrochen und verschoben; die in den Quadranten rechts oben und links unten sind um ein Viertel-Intervall vom Mittelpunkt fortgeschobene, und die in den beiden andern Quadranten sind dem Mittelpunkte um dieselbe Gröfse näher gerückt. Die Linie, welche die Quadranten trennt, ist nirgends schwarz; die Intensität des Lichts ist gleichförmig, und etwa der mittleren Intensität gleich. Geht die Reflexionsebene durch die Theilpunkte 135° und 315°, so sind die Erscheinungen in den zusammenstofsenden Quadranten genau verwechselt. Es ändert sich nichts, wenn man den Zerlegungsspiegel um den einfallenden Strahl dreht; die Linien, welche die Quadranten trennen, sind immer parallel und senkrecht gegen die Reflexionsebene des Zerlegungsspiegels **).

*) D. h. wenn die Ebene der zweimaligen inneren Reflexion im Glas-Parallelepiped (welches der Verfasser der Kürze halber immer *rhomb* nennt) den Winkel 45° oder 225° mit der ursprünglichen Polarisationsebene macht, oder, wie die französischen Physiker sagen, im Azimuthe 45° oder 225° liegt. Nach der wohl nicht ganz richtig gezeichneten Fig. 1 Taf. III zu urtheilen, scheint der polarisirte Strahl in dem Polarisationsapparat des Verfassers horizontal zu liegen (was bestimmt zu wissen, für das Vertsändnifs mancher Stellen in der Abhandlung nicht überflüssig wäre), da er rechtwinklig seyn mufs gegen die hier lothrecht gezeichnete Ebene der Kreistheilung, folglich auch gegen die mit dieser Ebene parallel liegenden Ein- und Austrittsflächen des Parallelepipeds oder geschobenen Prisma's, dessen beide rhombischen Flächen parallel liegen der Ebene der doppelten inneren Reflexion, und, nach Einrichtung der Fassung, auch dem Zeiger in Fig. 1 Taf. III. *P.*

**) Nicht unpassend ist es wohl zu erwähnen, dafs ich diese Er-

III. Geht die Reflexionsebene des Parallelepipeds durch 0° und 180° oder durch 90° und 360°, so sind die Erscheinungen und die Veränderungen, welche sie erleiden, genau denen in §. I. gleich. Wird, während die Spiegel mit ihren Reflexionsebenen senkrecht auf einander stehen, das Parallelepiped langsam aus der Lage 0° gegen 45° gedreht, so verändern sich die Ringe allmälig, werden zuerst (wenigstens dem Augenschein nach) elliptisch, und nehmen dann die in Fig. 5 Taf. II abgebildete Gestalt an.

IV. Wenn eine Quarzplatte, gleichviel, ob von einem rechts oder von einem links gewundenen Krystall, zwischen die mit ihren Reflexionsebenen auf einander senkrechten Spiegel gebracht wird, so sieht man eine Reihe Ringe, wie Fig. 6, 7, 8, 9 Taf. II. So weit es das Auge beurtheilen kann, sind die Ringe genau kreisrund; allein es ist kein schwarzes Kreuz vorhanden, und die Farbe in der Mitte ist nicht schwarz, sondern vom Schwarz um eine Anzahl von Farben aus Newton's Skale entfernt, die der Dicke der Quarzplatte proportional ist. Wenn z. B. diese Dicke 0,48 Zoll beträgt, ist die Farbe der Mitte blafs Nelkenroth; bei der Dicke 0,38 Zoll ist sie hell gelbgrün; bei der Dicke 0,26 Zoll: reich pflaumenroth; bei der Dicke 0,17 Zoll: reich gelb.

Die Farben scheinen dann, von der Mitte aus gerechnet, nahe dieselben zu seyn, wie in Newton's Skale, wenn man mit der Farbe anfängt, welche diese Farbe der Mitte repräsentirt. In einer beträchtlichen Entfernung vom Mittelpunkt beginnen vier dunkele Büschel (*brushes*) sichtbar zu werden, und zwar in derselben Richtung, wie die Arme des schwarzen Kreuzes beim Kalkspath.

scheinungen schon im Herbste vorigen Jahres der physikalischen Gesellschaft zu Cambridge gezeigt habe, lange vor der Bekanntmachung von Dr. Brewster's werthvollen Abhandlung in den *Philosoph. Transact. f.* 1830 (Siehe diese Ann. Bd. XXI (97) S. 219), und, wie ich glaube, jedoch nicht sicher weifs, vor deren Mittheilung an die Königliche Gesellschaft.

V. Wenn nun die Quarzplatte (vorausgesetzt, dafs sie von einem rechts gewundenen Krystall genommen worden sey) dünn ist, und der Zerlegungsspiegel gedreht wird, sein oberer Theil gegen die linke Hand des Beobachters, so erscheint in der Mitte *) ein bläuliches kurzarmiges Kreuz, welches bei weiterer Drehung gelb wird, so wie gleichzeitig die Ringe gröfser werden. Bei noch weiterer Drehung löst sich das Kreuz in vier Flecke auf. Die Ringe sind nun nicht mehr kreisrund, sondern von einer zwischen dem Kreise und dem Quadrate liegenden Form, deren Diagonalen (so gut wie das Kreuz) nach der Linken der Linien neigen, welche gegen die Reflexionsebene parallel und senkrecht liegen (Fig. 10 Taf. II). Wird die Zerlegungsplatte in entgegengesetzter Richtung gedreht, so entsteht kein Kreuz; allein die Gestalt der anfangs kreisrunden Ringe wird wie zuvor geändert.

VI. Ist die Quarzplatte dick, so sind die Vergröfserung der Ringe und die Veränderung ihrer Form die alleinig sichtbaren Phänomene. Dreht man den Zerlegungsspiegel beständig gegen die Linke, so vergröfsern sich die Ringe beständig, und in dem Mittelpunkte bilden sich unaufhörlich neue Flecke, die in Ringe übergehen. Die Bemerkungen in diesem und dem vorhergehenden Paragraphen sind ganz eben so auf links gewundene Krystalle anwendbar, sobald man nur annimmt, der Zerlegungsspiegel werde in entgegengesetzter Richtung gedreht.

VII. Wenn Fresnel's Parallelepiped in die Lage 45° gebracht wird, und das hiedurch circular polarisirte Licht durch den Quarz geht, so erblickt man in dem Zerlegungsspiegel statt der Ringe zwei in einander gewickelte Spiralen, wie Fig. 11 Taf. II. Bringt man das Parallelepiped in die Lage 135°, so ist die Figur einen Qua-

*) Diefs kann als Definition der *Rechts-Gewundenheit* eines Krystalls angesehen werden, so wie dann auch diese Beobachtung das leichteste Mittel liefert zu bestimmen, ob eine dünne Platte rechts oder links gewundener Natur sey. Ist die Platte dick, so sieht man diefs am besten aus der Richtung, in welcher der Zerlegungsspiegel gedreht werden mufs, um die Ringe zu vergröfsern.

dranten herumgedreht. Wenn es ein links gewundener Quarz ist, sind die Spiralen in entgegengesetzter Richtung gedreht. Die Farbe der Mitte scheint weifs zu seyn. Mit dem gewöhnlich von mir angewandten Parallelepiped (welches von Tafelglas ist, aber die von Fresnel für Kronglas gegebenen Winkel besitzt) zeigt sich in der Mitte eine ungemein schwache nelkenrothe Farbe. Ich halte es jedoch für wahrscheinlich, dafs sie aus einem Fehler in den Winkeln entspringt, da die Intensität der Farbe in keinem Verhältnifs zu der anderer Theile der Spiralen steht. Die Figur ist eine Abbildung der Erscheinungen, welche eine 0,26 dicke Quarzplatte zeigt.

VIII. Wenn zwei gleichdicke Quarzplatten, eine rechtsgewundene und eine linksgewundene, auf einander gelegt und zwischen den Polarisations- und den Zerlegungsspiegel gebracht werden, die linksgewundene Platte dem Polarisationsspiegel zugewandt, so erblickt man die Fig. 12 Taf. II. Vier Spiralen, die von einem gegen die Reflexionsebene geneigten Kreuz in der Mitte ausgehen, schneiden eine Reihe von Kreisen in jedem Quadranten. Die Durchschnittspunkte liegen in der Reflexionsebene und senkreht auf derselben. Diefs ist die einfachste Art, die Form zu beschreiben; wenn wir aber den Farbencurven folgen, die sich am sanftesten verlaufen, so müssen wir sagen, dafs die Form einer jeden, von Quadrant zu Quadrant, abwechselnd ein Spiral- und ein Kreisbogen ist. In einiger Entfernung von der Mitte zeigen sich schwarze Büschel. Wenn die zusammen vereinigten Platten umgewandt werden, so dafs die rechts gewundene auf Seite des Polarisationsspiegels zu liegen kommt, so drehen sich die Spiralen in entgegengesetzter Richtung. Diese Erscheinungen gehören zu den schönsten in der ganzen Optik. Die Scheiben, deren Erscheinungen hier abgebildet sind, haben jede eine Dicke von 0,16 Zoll.

Ich werde nun aus einander setzen, wie ich diese Erscheinungen nach den von mir über die Natur des Lichts in den beiden Strahlen des Krystalls angenommenen Gesetzen berechnet habe.

Es seyen AB, CD (Fig. 2 Taf. III) zwei Parallelstrahlen, welche auf eine, senkrecht gegen die Axe geschnittene Kalkspathplatte fallen; der eine von ihnen liefert den gewöhnlichen Strahl BE, und der andere den ungewöhnlichen Strahl ED, welche beide letztere hernach gemeinschaftlich in der Richtung EF hinaustreten. Der ungewöhnliche Strahl von AB, und der gewöhnliche von CD sind hier nicht in Betracht gezogen, da sie nicht bei E ausfahren; beide treffen natürlich mit andern Strahlen zusammen.) Die Richtung der Strahlen wird durch folgende Construction gefunden. Ziehe GK, Tangente am Kreise, dessen Radius $GH \times b$ ist (nach Biot's hier beibehaltener Bezeichnung) *); ziehe LN, Tangente an der Ellipse, deren Halbaxen sind $LM \times a$ und $LM \times b$. Geschwindigkeit und Richtung des Strahls werden dann durch den Radius vorgestellt, welcher den Einfallspunkt mit dem Berührungspunkt verbindet; die Geschwindigkeit in der Luft wird durch GH und LM vorgestellt.

Der vom gewöhnlichen Strahl zurückgelegte Weg (gemessen durch den Weg, welchen derselbe in gleicher Zeit in der Luft zurückgelegt haben würde) übertrifft den des ungewöhnlichen Strahls um:

$$OB + \frac{GH}{BK} \cdot BE - \frac{LM}{DN} \cdot DE.$$

Setzt man ϑ für den Einfallswinkel und T für die Dicke der Platte, so ist diese Gröfse, nach Vollziehung sämmtlicher Reductionen, gleich:

*) Dieser gemäfs ist a das Brechungsverhältnifs des ungewöhnlichen Strahls, und b das des gewöhnlichen, für den Fall, dafs die Axe des Kalkspaths senkrecht liegt gegen die Refractionsebene. P.

$$\frac{T}{b}(\sqrt{1-b^2 \sin^2 \vartheta}-\sqrt{1-a^2 \sin^2 \vartheta}).$$

Wenn ϑ klein ist, wird diefs nahe $= T \times \frac{a^2-b^2}{2b} \times \vartheta^2$. Diese Gröfse heifse Θ.

Ich werde nun mit Fresnel unter einem nach einer gewissen Ebene polarisirten Strahl einen solchen verstehen, dessen Vibrationen senkrecht gegen diese Ebene geschehen; werde folglich annehmen, die Vibrationen, welche den gewöhnlichen Strahl bilden, seyen senkrecht auf dem durch diesen Strahl gelegten Hauptschnitt, und diejenigen, welche den ungewöhnlichen Strahl bilden, parallel mit diesem Schnitt.

I *). Gesetzt, es falle ein polarisirter Lichtbündel unter einem kleinen Einfallswinkel auf eine senkrecht gegen ihre Axe geschnittene Kalkspathplatte. Nehmen wir an, wir sähen in Richtung des einfallenden Strahls, und es stelle Fig. 3 Taf. III die Polarisationsebenen der beiden Spiegel des Polarisationsapparats und den durch den einfallenden Strahl gelegten Hauptschnitt des Krystalls, projicirt auf eine gegen den einfallenden Strahl senkrechte Ebene dar. Es sey $P_2 A p_2$ die Polarisations- (oder Reflexions-) Ebene des Zerlegungsspiegels, und sie mache den Winkel α mit der ursprünglichen Polarisationsebene $P_1 A p_1$; ferner sey CAc der durch den einfallenden Strahl gelegte Hauptschnitt des Krystalls, und mache mit der Ebene $P_2 A p_2$ den Winkel φ. Die Verschiebung der Aethertheilchen in der ursprünglich polarisirten Welle kann durch:

$$c \sin . \frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)$$

dargestellt werden, wo λ der Zwischenraum zweier Wellen (die Undulationslänge) ist, x die von einem willkührlichen Punkt gemessene Entfernung, t die Zeit, seit

*) Die zusammengehörigen Erscheinungen und mathematischen Untersuchungen finden sich unter gleicher römischer Zahl.

welcher der Aether an diesem Punkte in Ruhe war, und v die Geschwindigkeit der Welle *). Dieser Ausdruck bleibt noch gültig, nachdem die Welle durch irgend ein

*) Da vielleicht nicht alle Leser mit der Herleitung der Formel, die Hr. Airy seinen übrigen Untersuchungen zum Grunde legt, ganz vertraut seyn möchten, so erscheint es mir nicht überflüssig eine hieher gehörige Stelle aus Fresnel's Abhandlung über die Diffraction (die ich ihrer Wichtigkeit wegen vielleicht in Zukunft noch einmal ausführlich in die Annalen aufnehmen werde) hier einzuschalten.

Es ist die Annahme natürlich, heifst es in der genannten Abhandlung, dafs die Vibrationen der das Licht erzeugenden Theilchen auf ähnliche Weise wie die der tönenden Körper geschehen, d. h. wie diese nach den Gesetzen der kleinen Pendelschwingungen, oder, was dasselbe sagt, dafs die beschleunigende Kraft, welche die Theilchen in ihre Gleichgewichtslage zurückzuführen strebt, proportional ist der Entfernung, um welche dieselben aus dieser Lage abgelenkt sind. Wie nun auch die Function dieser Entfernung, die ich mit s bezeichne, beschaffen seyn mag, so kann sie doch immer unter die Form $As+Bs^2+Cs^3+$ u. s. w. gebracht werden, da sie zugleich mit s Null werden mufs. Setzt man nun die Ablenkung der Moleküle als sehr klein voraus gegen die Gröfse des Wirkungskreises der anziehenden und abstofsenden Kräfte, so kann man gegen As alle übrigen Glieder der Reihe vernachlässigen, und die beschleunigenden Kräfte als nahe proportional der Entfernung s betrachten. Diese von der Analogie nachgewiesene Hypothese ist die einfachste, welche sich über die Schwingungen der leuchtenden Theilchen machen läfst, und sie mufs zu genauen Resultaten führen, weil man nicht bemerkt, dafs die Gesetze für das Licht von dessen Intensität abhängig sind.

Bezeichnet nun v die Oscillationsgeschwindigkeit eines leuchtenden Theilchen nach Verlauf der Zeit t, so hat man $dv=-Asdt$; allein $v=\frac{ds}{dt}$ oder $dt=\frac{ds}{v}$; substituirt man diefs in der ersten Gleichung, so hat man: $vdv=-Asds$, und durch Integration: $v^2=C-As^2$, woraus:

$$s=-\sqrt{\frac{C-v^2}{A}}$$

Substituirt man diesen Werth in der ersten Gleichung, so hat man:

oder mehrere Mittel gegangen ist, sobald man nur für x den Raum nimmt, welcher in derselben Zeit in Luft zurückgelegt seyn würde. Diese Verschiebung geschieht senkrecht gegen $P_1 p_1$. Sie kann zerlegt werden in:

$$dt = \frac{dv}{\sqrt{A(C - v^2)}}$$

und durch Integration:

$$t = C' + \frac{1}{\sqrt{A}} arc\left(sin = \frac{v}{\sqrt{C}}\right).$$

Nimmt man nun zum Anfangspunkt der Zeit den der Bewegung, so mufs die Constante C' Null seyn, und man hat dann:

$$t = \frac{1}{\sqrt{A}} arc\left(sin = \frac{v}{\sqrt{C}}\right),$$

oder:

$$v = \sqrt{C} \,.\, sin(t \,.\, \sqrt{A}).$$

Nimmt man ferner zur Einheit die Zeit, welche von dem Abgang des Theilchens bis zu seiner Wiederkehr verfliefst, so hat man:

$$v = \sqrt{C} sin(2\pi t).$$

Mithin sind in den isochronen Oscillationen die Geschwindigkeiten, welche gleichen Werthen von t entsprechen, proportional der Constante $\sqrt{C}$, welche demnach die Intensität der Vibrationsbewegung vorstellt.

Beobachten wir nun die Undulationen, welche durch die Oscillationen dieses Theilchens im Aether erzeugt werden. Die Stärke der Bewegung des Aethers in irgend einem Punkt hängt ab von der Geschwindigkeit des bewegenden Theilchens in dem Augenblick, wo dasselbe den Impuls hervorgebracht hat, der jetzt in jenem Punkte merkbar wird. Die Geschwindigkeit der Aethertheilchen in irgend einem Punkt des Raums nach Verlauf der Zeit t ist proportional derjenigen, welche das bewegende Theilchen im Augenblick $t - \frac{x}{\lambda}$ besafs, wo x die Entfernung jenes Punktes von der Quelle der Bewegung und λ die Länge einer Lichtundulation bezeichnet. Wenn also v die Geschwindigkeit der Aethertheilchen bezeichnet, so hat man:

$$v = a \,.\, sin 2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right).$$

So weit Fresnel. Aus dieser Gleichung für die Oscillationsgeschwindigkeit der Aethertheilchen läfst sich nun die für die Verschiebung (s) der Theilchen aus ihrer Gleichgewichts-

$$c \,.\, sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) \,.\, cos\,(\alpha + \varphi) \text{ senkrecht gegen } AC$$

und in

$$c \,.\, sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) \,.\, sin\,(\alpha + \varphi) \text{ parallel mit } AC.$$

---

lage leicht ableiten. Geht man nämlich zu dem Aethertheilchen zurück, für das $x=0$ ist, so hat man erstlich:

$$v = a \,.\, sin\, 2\pi t,$$

dann, da $v = \frac{ds}{dt}$:

$$ds = a \,.\, sin\, 2\pi t \,.\, dt,$$

und endlich, wenn man integrirt:

$$s = -\frac{a}{2\pi} cos\, 2\pi t + C$$

Da $s=0$ seyn mufs, wenn $v=a$, dann aber $t=\frac{1}{4}$ wird, und dieser Werth von t das erste Glied des zweiten Theils der Gleichung annullirt, so ist die Constante $C=0$, mithin:

$$s = -\frac{a}{2\pi} cos\, 2\pi t.$$

Hier zählt t vom Augenblick, wo $v=0$ oder $s=\frac{a}{2\pi}$, d. h. von einem der Gränzpunkte der Oscillation; zählt man aber die Zeit vom Mittelpunkt der Oscillation, für den $v=a$ und $s=0$ ist (wie es in dem Airy'schen Ausdruck geschieht), so mufs man statt t setzen $t+\frac{1}{4}$ (die Zeit einer ganzen Oscillation vom Ausgangspunkt bis zu ihm zurück $=1$ gesetzt) also:

$$s = -\frac{a}{2\pi} cos\, 2\pi\,(t + \tfrac{1}{4}),$$

was entwickelt giebt:

$$s = -\frac{a}{2\pi}\left[cos\, 2\pi t \,.\, cos\, \tfrac{1}{2}\pi - sin\, 2\pi t \,.\, sin\, \tfrac{1}{2}\pi\right] = \frac{a}{2\pi} sin\, 2\pi t$$

und, wenn man wieder zu dem in der Entfernung x befindlichen Aethertheilchen übergeht:

$$s = \frac{a}{2\pi} sin\, 2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right).$$

Mit diesem ist der Airy'sche Ausdruck identisch. Schreibt man ihn nämlich so:

$$c\, sin\, 2\pi\left(\frac{v}{\lambda} t - \frac{x}{\lambda}\right)$$

und erwägt, dafs $\lambda = vT$ (wo λ die Länge der Welle, v ihre

Der erste dieser Ausdrücke liefert den gewöhnlichen, und der zweite den ungewöhnlichen Strahl. Nachdem die Strahlen durch die Krystallplatte gegangen sind, können wir für die Vibration des gewöhnlichen Strahls noch den obigen Ausdruck annehmen, sobald wir nur mit dem Werthe von x die geeignete Veränderung treffen; allein den Weg des ungewöhnlichen Strahls müssen wir um die Gröfse Θ verkürzen. Nach dem Durchgange durch den Krystall ist also die vom gewöhnlichen Strahl hervorgebrachte Vibration:

$$c \,.\, sin \left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)\right] . cos(\alpha + \varphi) \text{ senkrecht gegen } AC$$

und die vom ungewöhnlichen Strahl erzeugte:

$$c \,.\, sin \left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x + \Theta)\right] . sin(\alpha + \varphi) \text{ parallel mit } AC.$$

Fängt man diese Vibrationen mit dem Zerlegungsspiegel auf, so werden nur die, gegen seine Reflexionsebene AP_2 senkrecht liegenden Theile in's Auge oder auf den Schirm reflectirt, nämlich:

$$c \,.\, sin \left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)\right] . cos(\alpha + \varphi) . cos\, \varphi$$

und

$$c \,.\, sin \left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x + \Theta)\right] . sin(\alpha + \varphi) . sin\, \varphi,$$

und die Summe dieser beiden Ausdrücke repräsentirt die Gröfse der Vibration, welche in's Auge gelangt oder auf den Schirm fällt. Diese Summe kann unter folgende Gestalt gebracht werden:

Geschwindigkeit und T die Zeit, in welcher sie die Länge λ zurücklegt), also, wenn man T (das gleich ist der Zeit einer ganzen Oscillation eines Aethertheilchens) gleich Eins setzt, $\frac{v}{\lambda} = 1$, so bekommt man:

$$s = c\, sin\, 2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right).$$

P.

$$\left[c.\cos(\alpha+\varphi)\cos\varphi+c.\cos\frac{2\pi}{\lambda}\Theta.\sin(\alpha+\varphi)\sin\varphi\right]\sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)$$
$$+c.\sin\frac{2\pi}{\lambda}\Theta.\sin(\alpha+\varphi)\sin\varphi.\cos\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)$$

Nun mufs als allgemeiner Satz, dessen wir uns hier ohne weiteren Beweis bedienen, bemerkt werden, dafs ein Ausdruck von der Form:

$$E\sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]+F\cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]$$

immer unter die Form gebracht werden kann:

$$\sqrt{E^2+F^2}\ .\ \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}\left(vt-x+\frac{\lambda G}{2\pi}\right)\right],$$

wo $tang\, G=\frac{F}{E}$, und G constant für diesen Strahl ist *).

---

*) Der Beweis dieses Satzes ergiebt sich leicht, wenn man

$$\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)=\alpha$$

setzt, wodurch $\frac{2\pi}{\lambda}\left(vt-x+\frac{\lambda G}{2\pi}\right)=\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)+G=\alpha+G$ wird. Dann mufs seyn

$$E\sin\alpha+F\cos\alpha=\sqrt{E^2+F^2}\ .\ \sin(\alpha+G)$$
$$=\sqrt{E^2+F^2}[\sin\alpha\cos G+\cos\alpha\sin G].$$

Ist aber $tang\, G=\frac{F}{E}$, so wird $E=\cos G\sqrt{E^2+F^2}$ und $F=\sin G\sqrt{E^2+F^2}$, also, nach Substitution dieser Werthe, die Gleichung identisch.

Diese Transformation hat hier nur den Zweck zu zeigen, dafs man berechtigt ist, die Summe der in's Quadrat erhobenen Factoren von Sinus und Cosinus $\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)$ als Maafs der Intensität des Lichts anzusehen, da die Quadratwurzel dieser Summe als Factor auftritt in der ganz analogen Function:

$$\sqrt{E^2+F^2}\ .\ \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)+G\right],$$

einer Function, welche eben so die Excursion der Aethertheilchen in dem von der Quelle der Bewegung um $x-G$ entfern-

Es ist klar, dafs diefs eine periodische Vibration, ähnlich der bisher gebrauchten, bezeichnet, deren Coëfficient statt c ist: $\sqrt{E^2+F^2}$. Es ist zweckmäfsig das Quadrat dieses Coëfficienten als das Maafs für die Intensität des Lichts zu nehmen, und so wird E^2+F^2 in

---

ten Punkt angiebt, wie es die Function $c \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)$ für den in der Entfernung x liegenden Punkt thut.

Zu bemerken ist, dafs die Gröfse $F \cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]$ eine Welle bezeichnet, die der durch $E \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]$ ausgedrückten um eine Viertel-Undulation vorausgeht. Die letztere Gröfse bezeichnet nämlich die Verschiebung der Aethertheilchen in dem Punkte, dessen Abscisse x ist; für einen Punkt, der eine Viertel-Undulation ($\frac{1}{4}\lambda$) entfernter liegt, wird sie also:

$$E \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x+\tfrac{1}{4}\lambda)\right], \text{ d. h. } E \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)+90^\circ\right]$$

oder:

$$E \cdot \cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right],$$

worin man nur den Buchstaben E gegen F zu vertauschen hat.

Die Gröfse:

$$\sqrt{E^2+F^2} \cdot \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}\left(vt-x+\frac{\lambda G}{2\pi}\right)\right]$$

bezeichnet demnach die Resultante zweier Wellensysteme, die in ihrem Gange um eine Viertel-Undulation verschieden sind, und von welchen in einem die Oscillationen der Theilchen die Amplitude E, und in dem andern die Amplitude F besitzen. Das resultirende Wellensystem ist von der einen Componente durch den Raum $\frac{\lambda G}{2\pi}$ getrennt, und die Amplitude der Oscillationen in demselben beträgt $=\sqrt{E^2+F^2}$.

Aus den Gleichungen $\tan G=\frac{F}{E}$; $E=\cos G \sqrt{E^2+F^2}$; $F=\sin G \sqrt{E^2+F^2}$ geht übrigens hervor, dafs zwischen der Resultante zweier rechtwinkligen Kräfte und der Resultante zweier in ihrem Gange um eine Viertel-Undulation verschiedener Wellensysteme die vollkommste Aehnlichkeit vorhanden is.

P.

allen Fällen wie dieser die Intensität des Lichts bezeichnen.

Die Intensität oder die Summe der Quadrate der Multiplicatoren des Sinus und Cosinus von $\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)$ ist im gegenwärtigen Fall:

$$c^2\left[\cos^2(\alpha+\varphi)\cos^2\varphi+\sin^2(\alpha+\varphi)\sin^2\varphi\right.$$
$$\left.+2\cos\frac{2\pi}{\lambda}\Theta\,.\,\sin(\alpha+\varphi)\,.\,\cos(\alpha+\varphi)\sin\varphi\cos\varphi\right]$$
$$=\frac{c^2}{2}\left[1+\cos2(\alpha+\varphi)\,.\cos2\varphi+\cos\frac{2\pi}{\lambda}\,\Theta.\sin2(\alpha+\varphi)\sin2\varphi\right]$$

So haben wir einen allgemeinen Ausdruck für die Intensität des Lichts, wenn polarisirtes Licht in irgend einer Richtung durch den Krystall geht, und, nachdem es von dem Zerlegungsspiegel reflectirt worden ist, mit einem Schirm aufgefangen wird. Nehmen wir an, es falle polarisirtes Licht in allen möglichen Richtungen (innerhalb gewisser Gränzen) auf den Krystall, so müssen wir den Winkeln ϑ und φ alle möglichen Werthe geben, und so werden wir die Intensität des Lichts an allen einzelnen Stellen des Schirms haben. Es ist zu bemerken, dafs ϑ sehr nahe proportional ist dem Radius vector des correspondirenden Punkts auf dem Schirm, und dafs der Winkel hier von dem unteren Theil gegen die rechte Hand gemessen wird.

Wenn das Auge so gestellt wird, dafs es das von verschiedenen Stellen des Zerlegungsspiegels kommende Licht empfängt, so wird die Erscheinung in Bezug auf rechts und links umgekehrt, und dann mufs der Winkel φ von dem unteren Punkt gegen die linke Hand gemessen werden.

Erstens. Die Spiegel mögen sich kreuzen (d. h. ihre Reflexionsebenen senkrecht auf einander stehen. *P.*), oder $\alpha=90^{\circ}$, so ist:

$$\cos2(\alpha+\varphi)=-2\cos\varphi\ ;\ \sin2(\alpha+\varphi)=-\sin2\varphi$$

und die Intensität:

$$\frac{c^2}{2} \cdot sin^2 2\varphi \cdot sin^2 \frac{\pi \Theta}{\lambda},$$

oder, wenn man für Θ seinen Werth setzt:

$$\frac{c^2}{2} \cdot sin^2 2\varphi \cdot sin^2 \left(\frac{T\pi}{\lambda} \cdot \frac{a^2-b^2}{2b} \cdot \vartheta^2\right).$$

Dieser Ausdruck wird Null, oder es tritt Dunkelheit ein, wenn $\varphi = 0$, oder $= 90°$, oder $= 180°$, oder $= 270°$, wie auch der Werth von ϑ seyn mag. Diefs zeigt, dafs durch die Mitte, parallel und senkrecht gegen die Reflexionsebene, ein schwarzes Kreuz hindurchgeht. Es herrscht ferner Dunkelheit, für jeglichen Werth von φ, sobald:

$$\frac{T\pi}{\lambda} \cdot \frac{a^2-b^2}{2b} \cdot \vartheta^2 = 0, \text{ oder } = \pi, \text{ oder } = 2\pi \text{ u. s. w.}$$

oder wenn:

$$\vartheta^2 = 0, \text{ oder } = \frac{2b\lambda}{T(a^2-b^2)}, \text{ oder } = \frac{4b\lambda}{T(a^2-b^2)} \text{ etc.}$$

Diefs zeigt, dafs in der Mitte ein dunkler Fleck ist, und dafs es eine Reihe dunkler Ringe giebt, deren Radien eine fortwährend abnehmende Differenz unter sich zeigen. Caeteris paribus verhalten sich die Quadrate der Diameter dieser Ringe umgekehrt wie $\frac{a^2-b^2}{b}$, und umgekehrt wie T. Die Ringe sind also desto kleiner, je gröfser die Doppelbrechung der Krystalle und je dicker die Platte ist. Sie stehen in geradem Verhältnifs zu λ, und sind also für die rothen Strahlen gröfser als für die blauen. Nach einer kurzen Zeit correspondiren also die hellen Ringe einer Farbe mit den dunklen einer andern. Diefs giebt den Ringen ihren eigenthümlichen Charakter. Es verhindert auch, dafs einer von ihnen gänzlich schwarz erscheine; wogegen das Verschwinden des Lichts in dem Kreuz unabhängig von λ ist, und dieserhalb das Kreuz gänzlich schwarz erscheint.

Zweitens. Die Spiegel (oder vielmehr ihre Reflexions-

ebenen

ebenen. *P.*) seyen parallel, oder $\alpha=0$; dann wird der Ausdruck für die Intensität:

$$\frac{c^2}{2}\left[1+\cos^2 2\varphi+\cos\frac{2\pi}{\lambda}\,\Theta.\sin^2 2\varphi\right].$$

Wenn $\varphi=0$, oder $=90°$, oder $=180°$, oder $=270°$, so wird dieser Ausdruck $=c^2$; und folglich ist jetzt statt des schwarzen ein weifses Kreuz da. Für andere Werthe von φ ist das Licht am stärksten, wenn $\frac{2\pi}{\lambda}\Theta=0$, oder $=2\pi$ u. s. w., und am schwächsten, wenn $\frac{2\pi}{\lambda}\Theta$ $=\pi$, oder $=3\pi$ u. s. w.; im ersten Fall ist es $=c^2$, im letzteren: $=c^2\cos^2 2\varphi$. Diese Andeutungen bezeichnen genau die Fig. 3 Taf. II, und in der That ist aus den Ausdrücken leicht zu ersehen, dafs die entsprechenden Theile der Figuren 1 und 3 (Taf. II) genau complementär zu einander sind.

Drittens. Setzt man in dem allgemeinen Ausdruck $\sin 2\varphi=0$ (d. h. setzt $\varphi=0$, oder $=90°$, oder $=180°$, oder $=270°$), so wird derselbe:

$$\frac{c^2}{2}\left[1+\cos 2(\alpha+\varphi)\,.\,\cos 2\varphi\right]=\frac{c^2}{2}\left(1+\cos 2\alpha\right).$$

Diefs zeigt ein mattes Kreuz an, welches für kleine Werthe von α hell, und, wenn α nahe $=90°$ wird, dunkel ist, Wenn $\sin 2(\alpha+\varphi)=0$, erscheint ein anderes Kreuz, das gegen das erstere unter den Winkel α neigt. Im Allgemeinen, wenn φ zwischen 0° und $90°-\alpha$ liegt, ist die Intensität am gröfsten, wenn $\frac{2\pi}{\lambda}\Theta=0$, oder $=2\pi$ u. s. w., und am kleinsten, wenn $\frac{2\pi}{\lambda}\Theta=\pi$, oder $=3\pi$ u. s. w.; sobald aber φ zwischen $90°-\alpha$ und 90° liegt, dann ist die Intensität am gröfsten, wenn $\frac{2\pi}{\lambda}\Theta=\pi$, $=3\pi$ u. s. w., und am schwächsten, wenn diese Gröfse $=0$, oder $=2\pi$. Dasselbe findet statt, wenn wir alle diese

Winkel um 90° vergrößern. So ist Fig. 2 eine Mischung von Theilen der Ringsysteme von Fig. 1 und 3 (Taf. II).

II. Nun werde Fresnel's Parallelepiped zwischen gesetzt; es sey RAr (Fig. 4 Taf. III) die Ebene senkrecht auf der Ebene der inneren Reflexion, und sie mache den Winkel β mit der Ebene der ursprünglichen Polarisation. Das Uebrige bleibe wie zuvor. Die Schwingung $c \,.\, \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda} \,.\, (vt-x)\right]$ senkrecht gegen $P_1 A$ kann zerlegt werden in:

$$c \,.\, \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda} \,.\, (vt-x)\right] \sin\beta, \text{ parallel mit } Ar$$

und

$$c \,.\, \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right] \cos\beta, \text{ senkrecht gegen } Ar.$$

Die erste dieser Schwingungen wird nach Fresnel's Theorie um eine Viertel-Undulation verzögert, oder die letztere um eben so viel beschleunigt. In der letzten Voraussetzung müssen wir annehmen, daſs nach dem Austritt aus dem Rhomboëder die Vibrationen sind, parallel mit Ar:

$$c \,.\, \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right],$$

und senkrecht gegen Ar:

$$c \,.\, \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)+90^\circ\right] \cos\beta,$$

oder:

$$c \,.\, \cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right] \cos\beta.$$

Dieſs giebt für den gewöhnlichen Strahl des Krystalls:

$$c \,.\, \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right] \sin\beta \,.\, \sin(\beta+\alpha+\varphi)$$
$$+ c \,.\, \cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right] \cos\beta \,.\, \cos(\beta+\alpha+\varphi)$$

und für den ungewöhnlichen Strahl:

$$-c\sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]\sin\beta\,.\,\cos(\beta+\alpha+\varphi)$$

$$+c\,.\,\cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]\cos\beta\,.\,\sin(\beta+\alpha+\varphi).$$

Nach dem Austritt aus dem Krystall müssen wir, wie zuvor, x in dem letzteren Ausdruck um die Gröfse Θ verringern, und so wird dann die Vibration des ungewöhnlichen Strahls:

$$=-c\,.\,\sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x+\Theta)\right]\sin\beta\,.\,\cos(\beta+\alpha+\varphi)$$

$$+c\,.\,\cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x+\Theta)\right]\cos\beta\,.\,\sin(\beta+\alpha+\varphi).$$

Von diesen Schwingungen wirft der Zerlegungsspiegel nur die senkrecht gegen seine Polarisationsebene liegenden Componenten zurück, nämlich die Vibration des gewöhnlichen Strahls $\times\cos\varphi$, und die des ungewöhnlichen Strahls $\times\sin\varphi$:

$$=c\,.\,\sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]\sin\beta\,.\,\sin(\beta+\alpha+\varphi)\,.\,\cos\varphi$$

$$+c\,.\,\cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]\cos\beta\,.\,\cos(\beta+\alpha+\varphi)\cos\varphi$$

$$-c\,.\,\sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x+\Theta)\right]\sin\beta\,.\,\cos(\beta+\alpha+\varphi)\sin\varphi$$

$$+c\,.\,\cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x+\Theta)\right]\cos\beta\,.\,\sin(\beta+\alpha+\varphi)\sin\varphi$$

Der Coëfficient von $\sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]$ ist:

$$c\,.\,\sin\beta\,.\,\sin(\beta+\alpha+\varphi)\cos\varphi$$

$$-c\,.\,\cos\frac{2\pi}{\lambda}\Theta\,.\,\sin\beta\,.\,\cos(\beta+\alpha+\varphi)\sin\varphi$$

$$-c\,.\,\sin\frac{2\pi}{\lambda}\Theta\,.\,\cos\beta\,.\,\sin(\beta+\alpha+\varphi)\sin\varphi.$$

Der Coëfficient von $\cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]$ ist:

$$c\,.\,\cos\beta\,.\,\cos(\beta+\alpha+\varphi)\cos\varphi$$

$$-c\,.\,sin\frac{2\pi}{\lambda}\Theta\,.\,sin\,\beta\,.\,cos(\beta+\alpha+\varphi)sin\,\varphi$$

$$+c\,.\,cos\frac{2\pi}{\lambda}\Theta\,.\,cos\,\beta\,.\,sin(\beta+\alpha+\varphi)sin\,\varphi$$

Die Intensität, oder die Summe der Quadrate dieser Coëfficienten ist, nach gemachter Reduction:

$$\frac{c^2}{2}\Big[1+cos\,2\beta\,.\,cos\,2\varphi\,.\,cos\,2(\beta+\alpha+\varphi)$$

$$+cos\frac{2\pi}{\lambda}\Theta.cos\,2\beta.sin\,2\varphi.sin\,2(\beta+\alpha+\varphi)$$

$$-sin\,\frac{2\pi}{\lambda}\Theta\,.\,sin\,2\beta\,.\,sin\,2\varphi\Big].$$

Wenn nun $\beta=45^\circ$, also $cos\,2\beta=0$ und $sin\,2\beta=1$, wird die Intensität:

$$=\frac{c^2}{2}\Big[1-sin\frac{2\pi}{\lambda}\Theta\,.\,sin\,2\varphi\Big].$$

Erstens. Da α aus diesem Ausdruck verschwunden ist, so wird die Figur für jeglichen Werth von α, d. h. für jegliche Lage des Zerlegungsspiegels dieselbe bleiben.

Zweitens. Wenn $\varphi=0$, $=90^\circ$, $=180^\circ$, $=270^\circ$, so wird der Ausdruck $\frac{c^2}{2}$, was zeigt, dafs parallel und senkrecht gegen die Reflexionsebene des Zerlegungsspiegels ein schwaches Kreuz vorhanden ist.

Drittens. Wenn φ ist >0 und $<90^\circ$, oder $>180^\circ$ und $<270^\circ$, so ist die Intensität am gröfsten, wenn $\frac{2\pi}{\lambda}\Theta=\frac{3\pi}{2}$, $\frac{7\pi}{2}$ u. s. w., und am schwächsten, wenn $\frac{2\pi}{\lambda}\Theta=\frac{\pi}{2}$, $\frac{5\pi}{2}$, u. s. w. Wenn φ ist $>90^\circ$, $<180^\circ$, oder $>270^\circ$, $<360^\circ$, so ist die Intensität am schwächsten, wenn $\frac{2\pi}{\lambda}\Theta=\frac{3\pi}{2}$, $\frac{7\pi}{2}$ u. s. w., und am gröfsten, wenn $\frac{2\pi}{\lambda}\Theta=\frac{\pi}{2}$, $\frac{5\pi}{2}$ u. s. w.

Viertens. Wenn $\beta=135^\circ$, wird die Intensität:

$$=\frac{c^2}{2}\left[1+\sin\frac{2\pi}{\lambda}\Theta\,.\,\sin 2\varphi\right],$$

woraus leicht zu ersehen, daſs dann die hellen Theile der Ring-Quadranten den matten, für den Fall $\beta=45°$, entsprechen , und so umgekehrt.

III. Wenn im letzten Versuch das Parallelepiped in die Lage 0° gebracht wird, so muſs man $\beta=0$ machen, was für die Intensität giebt:

$$\frac{c^2}{2}\left[1+\cos 2\varphi\,.\,\cos 2(\alpha+\varphi)\right.$$
$$\left.+\cos\frac{2\pi}{\lambda}\Theta\,.\,\sin 2\varphi \sin 2(\alpha+\varphi)\right]$$

genau, wie im allgemeinen Fall des Versuches I.

Befindet sich das Parallelepiped in der Lage 90°, so ist der Ausdruck genau derselbe.

Wenn der Polarisations- und der Zerlegungsspiegel mit ihren Reflexionsebenen einander rechtwinklig kreuzen, so muſs man $\alpha=90°$ machen, und der allgemeine Ausdruck wird dann:

$$\frac{c^2}{2}\left[1-\cos 2\beta\,.\,\cos 2\varphi\,.\,\cos 2(\beta+\varphi)\right.$$
$$-\cos\frac{2\pi}{\lambda}\Theta\,.\,\cos 2\beta\,.\,\sin 2\varphi\,.\,\sin 2(\beta+\varphi)$$
$$\left.-\sin\frac{2\pi}{\lambda}\Theta\,.\,\sin 2\beta\,.\,\sin 2\varphi\right].$$

Wenn hier $\varphi=0$, $=90°$, $=180°$, $=270°$ ist, wird die Intensität $=\frac{c^2}{2}\sin^2 2\beta$, was zeigt, daſs dann parallel und senkrecht gegen die Reflexionsebene ein schwaches Kreuz vorhanden ist. Für andere Werthe von φ ist der variable Theil nur in den beiden letzten Gliedern eingeschlossen, oder in:

$$-\frac{c^2}{2}\sin 2\varphi\left[\sin 2\beta\,.\,\sin\frac{2\pi}{\lambda}\Theta\right.$$
$$\left.+\cos 2\beta\,.\,\sin 2(\beta+\varphi)\cos\frac{2\pi}{\lambda}\Theta\right].$$

Diefs kann unter die Form $A.\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\Theta-B\right)$ gebracht werden, wo

$$A=-\frac{c^2}{2}\sin^2\varphi\sqrt{\sin^2 2\beta+\cos^2 2\beta\,.\,\sin^2 2(\beta+\varphi)}$$

und

$$\tang.B=\frac{\tang 2\beta}{\sin 2(\beta+\varphi)}.$$

Die Gleichung für die dunklen Ringe wird gefunden, wenn man macht:

$$\frac{2\pi}{\lambda}\Theta-B=0,\text{ oder }=2\pi,\text{ oder }=4\pi\text{ u. s. w.}$$

also:

$$\Theta=\frac{\lambda B}{2\pi},\text{ oder }=\lambda+\frac{\lambda B}{2\pi},\text{ oder}=2\lambda+\frac{\lambda B}{2\pi}\text{ u. s. w,}$$

und:

$$\vartheta=\sqrt{\frac{2b\lambda}{T(a^2-b^2)}}\,.\sqrt{\frac{B}{2\pi}},$$

oder:

$$=\sqrt{\frac{2b\lambda}{T(a^2-b^2)}}\sqrt{1+\frac{B}{2\pi}},$$

oder:

$$=\sqrt{\frac{2b\lambda}{T(a^2-b^2)}}\sqrt{2+\frac{B}{2\pi}}\text{ u. s. w.}$$

Wenn nun β klein ist, ist auch $\tang 2\beta$ klein, so wie auch $\tang B$, ausgenommen, wenn $\sin 2(\beta+\varphi)$ klein ist wo B schleunig $=90°$ wird. Wird $\sin 2(\beta+\varphi)$ negativ, wird auch B negativ, und zwar $-90°$ seine Gröfse nimmt dann ab bis $\sin 2(\beta+\varphi)=-1$, und es geht dann durch denselben Wechsel. Der Kreis wird daher in die Fig. 5 Taf. III verwandelt. Doch da die Ringe an den Stellen, wo $\sin 2(\beta+\varphi)=0$ ist, sehr schwach sind, entgehen die Einbiegungen der Curve leicht der Aufmerksamkeit und die Figur erscheint deshalb elliptisch. Wenn aber β wächst, so ist die Intensität der Ringe, wo

$\sin 2(\beta+\varphi)=0$ ist, nicht klein (sie wird durch A repräsentirt), und die Gestalt der Ringe ist leicht zu erkennen *). Alle diese Schlüsse stimmen vollkommen mit der Beobachtung.

IV. Um auf ähnliche Weise die Erscheinungen der Quarzplatten gemäfs den zu Anfange dieses Aufsatzes gemachten Voraussetzungen zu untersuchen, müssen wir einen linear polarisirten Strahl **) in zwei elliptisch polarisirte Strahlen zerfällen. Es sey AP_1 (Fig. 6 Taf. III) die Ebene der ursprünglichen Polarisation, AC der Hauptschnitt des Krystalls. Da der gewöhnliche Strahl elliptisch polarisirt ist, so besteht er aus einer Vibration in der Richtung Oo_1, und einer andern in der Richtung $o_1 o_2$, die um eine Viertel-Undulationslänge von einander getrennt sind. Der Coëfficient der letzteren Vibration ist $=k$ multiplicirt mit dem der ersteren Vibration, und k ist ein Bruch, der, nach einem unbekannten Gesetze, von der Neigung gegen die Axe abhängt, allein $=1$ wird, wenn die Neigung $=0$ ist, dagegen $=0$ wird, wenn die Neigung beträchtlich ist. Der ungewöhnliche Strahl besteht aus einer Vibration in der Richtung Ee_1, und aus einer andern, die um eine Viertel-Undulationslänge vorausgeht, in der Richtung $e_1 e_2$. Der Coëfficient der letzteren Vibration ist $=\frac{1}{k}$, multiplicirt mit dem der ersteren.

Es sey die Vibration senkrecht gegen AP_1:
$c \,.\, \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]$, oder, Kürze halber, $=c \,.\, \sin\xi$;
ferner die nach Oo_1:

*) Fast auf gleiche Weise habe ich auch die Form der Curven in der Voraussetzung untersucht, dafs der Krystall sich zwischen dem Polarisationsspiegel und dem Parallelepiped befinde. Die berechneten Phänomene sind beinahe den oben beschriebenen gleich, und stimmen vollkommen mit der Beobachtung.

**) Unter einem linear polarisirten Strahl ist ein gewöhnlich polarisirter zu verstehen.

$$p \sin(\xi+v), \text{ oder } p \cos v \,.\, \sin\xi + p \,.\, \sin v \,.\, \cos\xi,$$
$$\text{oder } \omega \sin\xi + x \cos\xi,$$

die nach $o_1 o_2$:

$$kp \sin(\xi+v-90^\circ), \text{ oder } -kp\cos(\xi+v),$$
$$\text{oder } kp \sin v \sin\xi - kp \cos v \cos\xi,$$
$$\text{oder } kx \sin\xi - k\omega \cos\xi;$$

die nach Ee_1:

$$q \sin(\xi+\chi), \text{ oder } q \cos\chi \sin\xi + q \sin\chi \cos\xi,$$
$$\text{oder } y \sin\xi + z \cos\xi;$$

die nach $e_1 e_2$:

$$\frac{q}{k} \sin(\xi+\chi+90^\circ), \text{ oder } \frac{q}{k}\cos(\xi+\chi).$$
$$\text{oder } -\frac{q}{k}\sin\chi \sin\xi + \frac{q}{k}\cos\chi\cos\xi,$$
$$\text{oder } \frac{z}{k}\sin\xi + \frac{y}{k}\cos\xi.$$

Zerlegt man diese Vibrationen nach den Richtungen parallel und senkrecht gegen AP_1, und vergleicht sie mit der Vibration der ursprünglichen Polarisation, so hat man:

$$\begin{aligned}&\cos(\alpha+\varphi)\,.\,(\omega\sin\xi + x\cos\xi)\\ &\quad+\sin(\alpha+\varphi)(kx\sin\xi - k\omega\cos\xi)\\ &\quad+\cos(\alpha+\varphi)(y\sin\xi + z\cos\xi)\\ &\quad+\sin(\alpha+\varphi)\left(-\frac{z}{k}\sin\xi + \frac{y}{k}\cos\xi\right) = c\sin\xi\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&\sin(\alpha+\varphi)(\omega\sin\xi + x\cos\xi)\\ &\quad-\cos(\alpha+\varphi)(kx\sin\xi - k\omega\cos\xi)\\ &\quad+\sin(\alpha+\varphi)(y\sin\xi + z\cos\xi)\\ &\quad-\cos(\alpha+\varphi)\left(-\frac{z}{k}\sin\xi + \frac{y}{k}\cos\xi\right) = 0,\end{aligned}$$

oder, da diese Gleichungen für alle Werthe von ξ gültig bleiben müssen, wenn man die Coëfficienten von $\sin\xi$ und $\cos\xi$ für sich einander gleich setzt:

$$\begin{aligned}&\omega\cos(\alpha+\varphi) + xk\sin(\alpha+\varphi)\\ &\quad+y\cos(\alpha+\varphi) - z\frac{1}{k}\sin(\alpha+\varphi) = c \quad . \quad . \quad (1)\end{aligned}$$

$$x\cos(\alpha+\varphi)+\omega k.\sin(\alpha+\varphi)$$
$$+z\cos(\alpha+\varphi)+y\frac{1}{k}\sin(\alpha+\varphi)=0 \quad . \quad . \quad (2)$$
$$\omega\sin(\alpha+\varphi)-xk\cos(\alpha+\varphi)$$
$$+y\sin(\alpha+\varphi)+z\frac{1}{k}\cos(\alpha+\varphi)=0 \quad . \quad . \quad (3)$$
$$x\sin(\alpha+\varphi)+\omega k\cos(\alpha+\varphi)$$
$$+z\sin(\alpha+\varphi)-y\frac{1}{k}\cos(\alpha+\varphi)=0 \quad . \quad . \quad (4)$$

Durch die Lösung dieser Gleichungen erhält man:

$$\omega=\frac{c}{1+k^2}\cos(\alpha+\varphi)$$
$$x=\frac{k}{1+k^2}c.\sin(\alpha+\varphi)$$
$$y=\frac{k^2}{1+k^2}c.\cos(\alpha+\varphi)$$
$$z=-\frac{k}{1+k^2}c.\sin(\alpha+\varphi).$$

Folglich sind, wenn man den gemeinschaftlichen Factor $\frac{c}{1+k^2}$ fortläſst, die Ausdrücke für die Vibrationen:

nach Oo_1

$$\cos(\alpha+\varphi)\sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]$$
$$+k.\sin(\alpha+\varphi).\cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]$$

nach $o_1 o_2$

$$k^2.\sin(\alpha+\varphi)\sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]$$
$$-k.\cos(\alpha+\varphi).\cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]$$

nach Ee_1

$$k^2.\cos(\alpha+\varphi)\sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]$$
$$-k\sin(\alpha+\varphi)\cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]$$

nach $e_1 e_2$

$$\sin(\alpha+\varphi)\sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]$$

$$+k\cos(\alpha+\varphi)\cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right].$$

Nach dem Austritt aus dem Krystall mufs x in den beiden letzteren Ausdrücken um Θ vermindert werden. (Zwar ist Θ für den Quarz negativ, doch bringt diefs keine Verschiedenheit in unseren Untersuchungen oder Schlüssen zu Wege.)

Wenn man nun das Licht mit dem Zerlegungsspiegel auffängt, so werden blofs die senkrecht gegen deren Reflexionsebene liegenden Componenten der Vibrationen sichtbar. Setzt man nun wie zuvor ξ für $\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)$, so sind diese:

von Oo_1

$$\cos(\alpha+\varphi)\cos\varphi\sin\xi$$

$$+k\sin(\alpha+\varphi)\cos\varphi\cos\xi$$

von $o_1 o_2$

$$k^2\sin(\alpha+\varphi)\sin\varphi\sin\xi$$

$$-k\cos(\alpha+\varphi)\sin\varphi\cos\xi$$

von Ee_1

$$k^2\cos(\alpha+\varphi)\cos\varphi\sin\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

$$-k\sin(\alpha+\varphi)\cos\varphi\cos\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

von $e_1 e_2$

$$\sin(\alpha+\varphi)\sin\varphi\sin\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

$$+k.\cos(\alpha+\varphi)\sin\varphi\cos\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

Nimmt man die Summe, so ist der Coëfficient von $\sin\xi$:

$$\cos(\alpha+\varphi)\cos\varphi+k^2\sin(\alpha+\varphi)\sin\varphi$$

$$+k^2\cos(\alpha+\varphi)\cos\varphi\cos\frac{2\pi\Theta}{\lambda}$$

$$+k \sin\alpha \sin\frac{2\pi\Theta}{\lambda}+\sin(\alpha+\varphi)\sin\varphi\cos\frac{2\pi\Theta}{\lambda}$$

Der Coëfficient von $\cos\xi$ ist:

$$k\sin\alpha+k^2\cos(\alpha+\varphi)\cos\varphi\,.\,\sin\frac{2\pi\Theta}{\lambda}$$
$$-k\sin\alpha\,.\,\cos\frac{2\pi\Theta}{\lambda}+\sin(\alpha+\varphi)\sin\varphi\,.\,\sin\frac{2\pi\Theta}{\lambda}$$

Die Summe der Quadrate dieser Coëfficienten, nachdem alle Reductionen gemacht sind, ist:

$$(1-k^2)^2\cos^2(\alpha+2\varphi)\sin^2\frac{\pi\Theta}{\lambda}$$
$$+\left[(1+k^2)\cos\alpha\cos\frac{\pi\Theta}{\lambda}+2k\sin\alpha\sin\frac{\pi\Theta}{\lambda}\right]^2$$

und, wenn man den Factor $\frac{c^2}{(1+k^2)^2}$ wieder hinzufügt, haben wir für die Helligkeit:

$$c^2\left(\frac{1-k^2}{1+k^2}\right)^2\cos^2(\alpha+2\varphi)\sin^2\frac{\pi\Theta}{\lambda}$$
$$+c^2\left[\cos\alpha\cos\frac{\pi\Theta}{\lambda}+\frac{2k}{1+k^2}\sin\alpha\sin\frac{\pi\Theta}{\lambda}\right].$$

Wenn die Reflexionsebenen der beiden Spiegel einander rechtwinklig kreuzen, oder wenn $\alpha=90^\circ$ ist, wird dieser Ausdruck:

$$=c^2\left(\frac{1-k^2}{1+k^2}\right)^2.\sin^2 2\varphi\,.\,\sin^2\frac{\pi\Theta}{\lambda}+c^2\frac{4k^2}{(1+k^2)^2}.\sin^2\frac{\pi\Theta}{\lambda}$$
$$=c^2\sin^2\frac{\pi\Theta}{\lambda}\left[\frac{4k^2}{(1+k^2)^2}+\left(\frac{1-k^2}{1+k^2}\right)^2\sin^2 2\varphi\right].$$

Erstens. Für jeglichen Werth von φ ist dieser Ausdruck $=0$, sobald:

$$\frac{\pi\Theta}{\lambda}=0,\ =\pi,\ =2\pi \text{ u. s. w.}$$

Diefs zeigt also, dafs dunkle, genau kreisrunde Ringe vorhanden sind, was auch völlig mit der Erfahrung übereinstimmt.

Zweitens. Weil aber gemäfs unserer vierten Hypothese das Sphäroid und die Kugel, welche zur Be-

stimmung der Bahn der beiden Strahlen gebraucht werden, einander nicht berühren, so wird Θ noch einen Werth haben, wenn $\vartheta = 0$ ist. Θ kann daher nicht schlechthin durch

$$T \times \frac{a^2 - b^2}{2b} \times \vartheta^2$$

ausgedrückt werden, sondern wir müssen noch ein additionelles Glied $T \times E$ haben. Der Werth von E (der von λ abhängig ist) kann folgendermaſsen gefunden werden. Für die Mitte ist, gemäſs der dritten Hypothese, $k = 1$ angenommen. Der allgemeine Ausdruck für die Intensität des Lichts in der Mitte ist also:

$$c^2 \left(\cos \alpha \,.\, \cos \frac{\pi \Theta}{\lambda} + \sin \alpha \,.\, \sin \frac{\pi \Theta}{\lambda} \right)^2$$

oder:

$$c^2 \cos^2 \left(\alpha - \frac{\pi \Theta}{\lambda} \right).$$

Dieser wird 0, wenn $\alpha - \frac{\pi \Theta}{\lambda} = 90^\circ$; oder, wenn man Θ', α' für diese besonderen Werthe von Θ und α setzt: $\alpha' = 90^\circ + \frac{\pi \Theta'}{\lambda}$. Nun hat Hr. Biot gefunden, daſs in einem rechtsgewundenen Krystall α' (gemessen in der von uns angenommenen Richtung) gröſser seyn muſs als 90° um eine Gröſse, die der Dicke der Platte direct und dem Quadrate von λ umgekehrt proportional ist; d. h.:

$$\frac{\pi \Theta'}{\lambda} = \frac{e\,T}{\lambda^2} \quad \text{oder} \quad \Theta' = \frac{e\,T}{\lambda \pi}.$$

E ist deshalb $\frac{e}{\lambda \pi}$, und folglich:

$$\Theta = T \times \left(\frac{e}{\lambda \pi} + \frac{a^2 - b^2}{2b} \cdot \vartheta^2 \right).$$

Wir müssen den Leser daran erinnern (da wir späterhin Gelegenheit haben Gebrauch davon zu machen), daſs $\frac{e\,T}{\lambda^2}$ der Winkel ist, um welchen der Zerlegungs-

spiegel aus der gekreuzten Lage (d. h. der, wo seine Reflexionsebene senkrecht gegen die des Polarisationsspiegels liegt) gedreht werden muſs, um, bei der angewandten Farbengattung, Dunkelheit in der Mitte hervorzubringen. Wir müssen auch bemerken, daſs wenn Θ als positiv angesehen wird (wie es hier fortwährend geschieht), alle unsere Ausdrücke (wie aus dem Vergleich der Theorie mit der Beobachtung erhellt) als angewandt auf einen rechtsgewundenen Krystall zu verstehen sind; wenn das Zeichen von k geändert wird, sind sie anwendbar auf einen linksgewundenen Krystall. Wenn man aber, was richtiger ist, Θ das negative Zeichen giebt, so finden unsere Ausdrücke ihre Anwendung auf einen linksgewundenen Krystall, so lange das Zeichen von k nicht geändert wird *).

Der Werth von $\frac{\pi\Theta}{\lambda}$ ist also $\frac{Te}{\lambda^2}+\frac{T\pi(a^2-b^2)}{2b\lambda}\vartheta^2$

Es möge nun $\lambda'+\delta\lambda$ die (Undulations-) Länge für irgend einen Farbenstrahl bezeichnen, wo λ' diese Länge für die mittleren Strahlen, also constant ist, und $\delta\lambda$ klein ist für alle helle Farben. Dann haben wir für $\frac{\pi\Theta}{\lambda'+\delta\lambda}$ sehr nahe:

$$\frac{Te}{\lambda'^2}+\frac{T\pi(a^2-b^2)}{2b\lambda'}\vartheta^2-\frac{\delta\lambda}{\lambda'^2}\left[\frac{2Te}{\lambda'}+\frac{T\pi(a^2-b^2)}{2b}\vartheta^2\right].$$

*) Der Leser, welcher sich die Mühe geben will, die Ausdrücke zu studiren, wird bei deren Vergleich mit Biot's Versuchen finden, daſs, bei gleichzeitiger Aenderung des Zeichens von Θ und k, nicht nur die Rechtsgewundenheit des Krystalls ungeändert bleibt, sondern auch, daſs alle Richtungen der Spiralen u. s. w. in den folgenden Versuchen dieselben bleiben. Die Beziehungen zwischen der Rechtsgewundenheit und der Richtung der Spiralen ist also unabhängig von dem für Θ angenommenen Zeichen. Aus diesem Grunde hielt ich es für das Beste, bei den Theoremen für den Kalkspath und den Bergkrystall gleiches Zeichen zu gebrauchen.

Die Mischung der Farben in den Ringen wird alleinig von dem Unterschied der Werthe von $\frac{\pi\Theta}{\lambda}$ für die verschiedenen Farben, und nicht von der absoluten Gröfse dieser Werthe, folglich nur von dem letzten Gliede dieses Ausdrucks abhängen *). Diefs ist nun dasselbe, was wir für die Farben der Newton'schen Skale, die von der Dicke $\frac{2Te}{\lambda'}+\frac{T\pi(a^2-b^2)}{2b}\vartheta^2$ einer Luftschicht abhängen, gefunden haben würden, wenn $\frac{a^2-b^2}{2b}$ gleich wäre für alle Farben; oder wenn die Variationen von $\frac{a^2-b^2}{b}$ proportional wären den Variationen von λ, müfste das letzte Glied in einem gewissen Verhältnifs geändert werden, wenn unsere Angabe noch wahr seyn soll. Es geht also daraus hervor, dafs die Mitte nahe diejenige Farbe besitzt, welche in Newton's Skale einer Luft-

*) Diefs ist nicht strenge richtig, denn obgleich, beim Vergleiche dieser Ringe mit den Newton'schen, die zusammengemischten Farben gleicher Art seyn mögen, so werden doch ihre Intensitäten nicht gleich seyn, ausgenommen $\sin^2\frac{\pi\Theta}{\lambda}$ wäre gleich, und also wird die resultirende Farbe nicht dieselbe seyn. Allein klar ist, dafs, wenn wir die beiden Ringe nehmen, welche dem Punkt, wo die Differenz von $\frac{\pi\Theta}{\lambda}$ der im vorliegenden Falle gleich ist, unmittelbar vorangehen und nachfolgen, wir dann an den Punkten, wo $\sin^2\frac{\pi\Theta}{\lambda}$ denselben Werth für die mittleren Strahlen besitzt, Gemische haben, die nach entgegengesetzten Seiten von dem hier betrachteten abweichen. Eben so hat man für den Rest dieses Paragraphen zu merken, dafs wenn man aus Newton's Skale diejenigen Farben nimmt, zwischen denen die Farben dieser Ringe liegen, man immer in der Skale vorrückt; doch wird man möglicherweise zwischen zwei Newton'schen Ringen keinen Ring, oder mehr wie einen liegen haben.

schicht von der Dicke $\frac{2\,Te}{\lambda'}$ entspricht, und daſs dieser Farbe die übrigen der Newton'schen Skale folgen. Dieſs stimmt hinlänglich mit den Beobachtungen.

Drittens. Sobald nicht $\frac{\pi\,\Theta}{\lambda}=0$, oder $=\pi$ u. s. w., ist das Licht nicht $=0$; daher giebt es hier kein schwarzes Kreuz. Allein das Licht ist am schwächsten, wenn $\varphi=0$, oder $=90^\circ$, oder $=180^\circ$, oder $=270^\circ$, und am stärksten, wenn $\varphi=45^\circ$, oder $=135^\circ$, oder $=225^\circ$, oder $=315^\circ$, dieſs zeigt, daſs es parallel und senkrecht gegen die Reflexionsebene dunkle Büschel giebt, die aber nicht die Ringe unterbrechen. Da k in der Nachbarschaft der Axe (gemäſs der Hypothese) nahe $=1$ ist, so sind die Büschel in der Nähe der Mitte nicht sichtbar; allein in einiger Entfernung werden sie stärker, da k sich dann der Null nähert. Dieſs ist der Beobachtung gemäſs.

V. Nimmt man den allgemeinen Ausdruck für die Helligkeit und macht:

$$tang\,\psi=\frac{2k}{1+k^2}\,.\,tang\,\alpha,$$

so haben wir:

$$cos\,\alpha\,cos\,\frac{\pi\,\Theta}{\lambda}+\frac{2k}{1+k^2}\,sin\,\alpha\,.\,sin\,\frac{\pi\,\Theta}{\lambda}$$
$$=\sqrt{\left(cos^2\,\alpha+\frac{4k^2}{(1+k^2)^2}\,sin^2\,\alpha\right)cos^2\left(\frac{\pi\,\Theta}{\lambda}-\psi\right)}$$

und der allgemeine Ausdruck für die Helligkeit ist dann:

$$c^2\left(\frac{1-k^2}{1+k^2}\right)^2.\,cos^2\,(\alpha+2\varphi)\,.\,sin^2\frac{\pi\,\Theta}{\lambda}$$
$$+c^2\left(cos^2\,\alpha+\frac{4k^2}{(1+k^2)^2}\,sin^2\,\alpha\right)cos^2\left(\frac{\pi\,\Theta}{\lambda}-\psi\right).$$

Vorausgesetzt, daſs k nicht sehr geändert wird durch eine kleine Veränderung von Θ, wird dieſs ein Maximum oder Minimum für einen gegebenen Werth von φ, wenn:

$$0=(1-k^2)^2 \cdot \cos^2(\alpha+2\varphi)\sin\frac{2\pi\Theta}{\lambda}$$

$$-((1+k^2)^2\cos^2\alpha+4k^2\sin^2\alpha)\sin\left(\frac{2\pi\Theta}{\lambda}-2\psi\right),$$

oder:

$$\operatorname{tang}\left(\frac{2\pi\Theta}{\lambda}-\psi\right)=\frac{2k}{1+k^2}\operatorname{tang}\alpha$$

$$\times\frac{(1+k^2)^2\cos^2\alpha+4k^2\sin^2\alpha+(1-k^2)^2\cos^2(\alpha+2\varphi)}{(1+k^2)^2\cos^2\alpha+4k^2\sin^2\alpha-(1-k^2)^2\cos^2(\alpha+2\varphi)}$$

Daher wird $\frac{2\pi\Theta}{\lambda}$ gröfser seyn als ψ (oder $\psi+\pi$, oder $\psi+2\pi$, oder $\psi+3\pi$ u. s. w.; denn jede dieser Gröfsen genügt der Gleichung $\operatorname{tang}\psi=\frac{2k}{1+k^2}\operatorname{tang}\alpha$) um den Winkel ω, dessen Tangente die zweite Seite dieses Ausdrucks ist.

Erstens. Wenn k nahe gleich 1 ist (was wir als wahr annehmen, wenn ϑ klein ist) und α kleiner als 90°, so ist der Ausdruck für $\operatorname{tang}\omega$ immer positiv. Sein gröfster Werth, wenn $\varphi=90°-\frac{1}{2}\alpha$, oder $=180°-\frac{1}{2}\alpha$, oder $=270°-\frac{1}{2}\alpha$, oder $=360°-\frac{1}{2}\alpha$ ist:

$$\frac{2k}{1+k^2}\operatorname{tang}\alpha\times\frac{2+2k^4-(1-k^2)^2\sin^2\alpha}{4k^2-(1-k^2)^2\sin^2\alpha}$$

und sein kleinster, wenn $\varphi=45°-\frac{1}{2}\alpha$, oder $135°-\frac{1}{2}\alpha$, oder $225°-\frac{1}{2}\alpha$, oder $315°-\frac{1}{2}\alpha$ ist:

$$\frac{2k}{1+k^2}\operatorname{tang}\alpha.$$

Deshalb wird $\frac{2\pi\Theta}{\lambda}$ in den hellen und dunklen Ringen gröfser seyn als ψ, oder $\psi+\pi$, oder $\psi+2\pi$ u. s. w., um einen Winkel ω, welcher immer zwischen 0 und 90° eingeschlossen ist, und welcher sein Maximum hat an einer Stelle, die, wenn α kleiner als 90° ist, dadurch gefunden wird, dafs man etwas nach der negativen Seite der parallel und senkrecht gegen die Reflexionsebene stehenden Linie sieht (wenn es also ein rechtsgewundener Kry-

Krystall ist, mufs man gegen die linke Seite des oberen Theils sehen, wo man die Ecken der quadratischen Figur finden wird). Wenn α gröfser ist als 90°, tritt der Maximum-Werth der Tangente in Punkten ein, die man findet, wenn man etwas nach der positiven Seite jener Perpendicular- und Parallellinie sieht; allein die Tangente ist dann negativ (denn *tang* α, welches als Multiplicator eingeht, ist negativ). Das Maximum der Contraction der Kreise wird also gefunden, wenn man nach der positiven Seite, und die runden Ecken der Quadrate, wenn man nach der negativen Seite schaut. In welche Richtung daher auch die Zerlegungsplatte gedreht werden mag, so gehen doch die Kreise in die Fig. 7 Taf. III über (einen rechts gewundenen Krystall vorausgesetzt). Dieser merkwürdige Schlufs stimmt vollkommen mit der Erfahrung.

Zweitens. Wenn k sehr klein ist, kann der Ausdruck für *tang* ω negativ werden, was zeigt, dafs ω plötzlich gröfser als 90° wird, und nach fortdauerndem Wachsen, während φ sich um einen Bogen von verschiedentlicher Gröfse (je nach dem Werthe von α) verändert, plötzlich kleiner als 90° wird. Diefs zeigt, dafs die hellen und dunklen Ringe die in Fig. 2 Taf. II abgebildete Gestalt besitzen, nur dafs sie, statt durch die acht Radien völlig unterbrochen zu werden, sehr stark geneigt durch dieselben hindurchgehen.

Drittens. Wir haben schon bemerkt, dafs wenn $\alpha = 90^\circ + \frac{e\,T}{\lambda^2}$ ein dunkler Fleck in der Mitte erscheint. Nun ergiebt sich (aus dem allgemeinen Ausdruck) für einen gegebenen Werth von Θ, dafs das Licht am schwächsten ist, wenn $\varphi = 45^\circ - \frac{1}{2}\alpha$, $= 135^\circ - \frac{1}{2}\alpha$ u. s. w.

Diefs zeigt, dafs bei diesem Werthe von α der Fleck in ein etwas dunkles Kreuz übergeht, dessen Arme liegen in: $45^\circ - \frac{1}{2}\alpha$, $135^\circ - \frac{1}{2}\alpha$ u. s. w.

Diefs sind aber genau die Winkel, bei welchen die

Eindrückung der Ringe ein Minimum ist, oder bei denen die runden Ecken der Quadrate sich finden. Deshalb haben wir in der Mitte einen kreuzähnlichen Fleck zu erwarten, dessen Arme in den Diagonalen des krummlinigen Quadrats liegen. Diefs entspricht den Erscheinungen vollkommen.

Viertens. Die Farbenfolge in dem kreuzähnlichen Fleck hängt, wie leicht zu ersehen, nur davon ab, dafs, weil λ gröfser ist für die rothen als für die blauen Strahlen, der Werth von α, welcher den rothen Strahlen den Eintritt verwehrt, kleiner ist als der, welcher keine blauen Strahlen einläfst; d. h. bei einem gewissen kleinen Werth von α werden blofs die blauen Strahlen, bei einem gröfseren Werth nur die rothen Strahlen durchgelassen.

Fünftens. Wenn die Reflexionsebenen der Polarisations- und Zerlegungsplatte parallel sind, oder $\alpha=0$ ist, so wird der Ausdruck für die Helligkeit:

$$c^2-c^2\left[1-\left(\frac{1-k^2}{1+k^2}\right)^2 \cos^2 2\varphi\right]\sin^2\frac{\pi\Theta}{\lambda}.$$

Es ist leicht zu ersehen, dafs diefs eine Reihe von Ringen bezeichnet, in der aber nirgends eine gänzliche Dunkelheit vorhanden ist.

Wenn $\varphi=0$, $=90^\circ$, $=180^\circ$, $=270^\circ$, so wird der Ausdruck:

$$c^2-c^2\cdot\frac{4k^2}{(1+k^2)^2}\sin^2\frac{\pi\Theta}{\lambda}.$$

So wie k kleiner wird, so variirt dieser Ausdruck weniger mit den Variationen von ϑ, allein er verschwindet nicht; d. h. von der Mitte ausgegangen, werden die Ringe immer mehr und mehr von einem weifsen Kreuze unterbrochen. Ist die Quarzplatte dünn, so kann der erste Ring so breit seyn, dafs er merklich davon unterbrochen wird. In diesem Fall wird der erste Ring (wenn er nämlich breit ist) das Aussehen von vier unterbrochenen Quadranten verlieren und in vier Flecke übergehen. Diefs ist beim Versuche leicht zu sehen.

VI. Wir haben gesehen, dafs, für einen hellen

oder dunklen Ring, $\frac{2\pi\Theta}{\lambda}$ von ψ nur um ω verschieden ist. Wenn $\alpha=0$, ist auch $\omega=0$, und wenn $\alpha=90^\circ$ wird, ist eben so ω allmälig $=90^\circ$ geworden. Wenn ferner $\alpha=0$, ist $\psi=0$, oder 2π u. s. w., und so wie α allmälig $=90^\circ$ wird, wächst ψ allmälig zu $\frac{1}{2}\pi$, oder $\frac{3}{2}\pi$, oder $\frac{5}{2}\pi$ u. s. w.

Folglich nimmt $\frac{2\pi\Theta}{\lambda}$ oder $\psi+\omega$ um 180° zu, während α von 0° bis 90° wächst. Eben so, wenn α allmälig von 90° bis 180° zunimmt, wächst ω allmälig von 90° bis 180°, und ψ von $\frac{1}{2}\pi$, oder $\frac{3}{2}\pi$, oder $\frac{5}{2}\pi$ u. s. w. bis π, oder 2π, oder 3π u. s. w., und folglich nimmt $\frac{2\pi\Theta}{\lambda}$ oder $\psi+\omega$ wiederum allmälig um 180° zu.

Dasselbe findet statt für jeden folgenden Quadranten des Umfangs. Wenn wir demnach unsere Aufmerksamkeit auf einen Ring heften, und die Zerlegungsplatte nach der Linken drehen (vorausgesetzt, der Krystall ist rechts gewunden), so wird der Abstand des Ringes von der Mitte, oder ϑ, welches

$$=\sqrt{\frac{2b}{T(a^2-b^2)}\left(\Theta-\frac{Te}{\pi\lambda}\right)}$$

ist, beständig aber nicht gleichförmig anwachsen. Diefs stimmt mit der Erfahrung.

VII. Wenn Fresnel's Parallelepiped in der Lage 45° zwischen gestellt wird, so müssen wir AR, Fig. 6 Taf. III als senkrecht gegen die Ebene der inneren Reflexion annehmen, und so haben wir dann die Schwingungen:

$$-\frac{c}{\sqrt{2}}\sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right] \text{ . . parallel mit } AR$$

und $$\frac{c}{\sqrt{2}}\cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right] \text{ . . senkrecht gegen } AR.$$

Zerfällt man diese Schwingungen nach den Richtungen parallel und senkrecht gegen AC, so erhalten wir für die erstere Componente:

$$-\frac{c}{\sqrt{2}}\sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]\cos(\alpha+\varphi+45^{\circ})$$

$$+\frac{c}{\sqrt{2}}\cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]\sin(\alpha+\varphi+45^{\circ}),$$

oder

$$-\frac{c}{\sqrt{2}}\sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)-(\alpha+\varphi)-45\right]$$

und für die letztere:

$$\frac{c}{\sqrt{2}}\sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]\sin(\alpha+\varphi+45^{\circ})$$

$$+\frac{c}{\sqrt{2}}\cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)\right]\cos(\alpha+\varphi+45^{\circ})$$

oder:

$$\frac{c}{\sqrt{2}}\cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)-(\alpha+\varphi)-45^{\circ}\right].$$

Gebrauchen wir nun dieselben Ausdrücke, wie zuvor, für die Vibrationen nach Oo_1 u. s. w., und vergleichen die Summen in den Richtungen parallel und senkrecht gegen AC_1, setzen überdiefs

$$\left(\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)-45^{\circ}\right)=\xi,$$

so haben wir:

$$-\frac{c}{\sqrt{2}}\sin(\xi-(\alpha+\varphi)),$$

oder:

$$-\frac{c}{\sqrt{2}}\cos(\alpha+\varphi)\sin\xi+\frac{c}{\sqrt{2}}\sin(\alpha+\varphi)\cos\xi$$

$$=\left(kx-\frac{z}{k}\right)\sin\xi+\left(\frac{y}{k}-k\omega\right)\cos\xi$$

und:

$$\frac{c}{\sqrt{2}}\cos(\xi-(\alpha+\varphi)),$$

oder:

$$\frac{c}{\sqrt{2}}\sin(\alpha+\varphi)\sin\xi+\frac{c}{\sqrt{2}}\cos(\alpha+\varphi)\cos\xi$$

$$=(\omega+y)\sin\xi+(x+z)\cos\xi,$$

und, wenn wir die Coëfficienten vom *sin* ξ und von *cos* ξ vergleichen:

$$kx-\frac{z}{k}=-\frac{c}{\sqrt{2}}\cos(\alpha+\varphi)$$

$$\frac{y}{k}-k\omega=\frac{c}{\sqrt{2}}\sin(\alpha+\varphi)$$

$$\omega+y=\frac{c}{\sqrt{2}}\sin(\alpha+\varphi)$$

$$x+z=\frac{c}{\sqrt{2}}\cos(\alpha+\varphi).$$

Substituirt man die hieraus abgeleiteten Werthe von ω, x, y, z in den Ausdrücken für die Vibrationen, so erhalten wir, den gemeinschaftlichen Factor $\frac{c}{(1+k^2)\sqrt{2}}$ einstweilen auslassend, für die Vibrationen:

parallel Oo_1 . . . $(1-k)\cos(\xi-(\alpha+\varphi))$
- o_1o_2 . . . $k(1-k)\sin(\xi-(\alpha+\varphi))$
- Ee_1 . . . $k(1+k)\cos(\xi-(\alpha+\varphi))$
- e_1e_2 . . $-(1+k)\sin(\xi-(\alpha+\varphi))$.

Nach dem Austritt aus dem Krystall mufs ξ in den beiden letzten Ausdrücken um $\frac{2\pi\Theta}{\lambda}$ vergröfsert werden.

Nimmt man nun die Componenten der Vibration senkrecht gegen AP_2, so finden wir für die wirksame Vibration:

$$(1-k)\cos(\xi-(\alpha+\varphi))\cos\varphi$$
$$+k(1-k)\sin(\xi-(\alpha+\varphi))\sin\varphi$$
$$+k(1+k)\cos\left(\xi-(\alpha+\varphi)+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)\cos\varphi$$
$$-(1+k)\sin\left(\xi-(\alpha+\varphi)+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)\sin\varphi.$$

Der Coëfficient von $\sin(\xi-(\alpha+\varphi))$ ist:

$$k(1-k)\sin\varphi-k(1+k)\cos\varphi\sin\frac{2\pi\Theta}{\lambda}$$
$$-(1+k)\sin\varphi\cos\frac{2\pi\Theta}{\lambda}$$

Der Coëfficient von $cos(\xi-(\alpha+\varphi))$ ist:

$$(1-k)\cos\varphi+k(1+k).\cos\varphi.\cos\frac{2\pi\Theta}{\lambda}-(1+k)\sin\varphi\sin\frac{2\pi\Theta}{\lambda}$$

Die Summe der Quadrate ist:

$$(1+k^2)^2-2k(1-k^2)\cos 2\varphi+2k(1-k^2)\cos 2\varphi\cos\frac{2\pi\Theta}{\lambda}-(1-k^4)\sin 2\varphi\sin\frac{2\pi\Theta}{\lambda}$$

Stellt man den Factor $\frac{c^2}{2(1+k^2)^2}$ wieder her, so hat man für die Helligkeit:

$$\frac{c^2}{2}\left[1-\frac{2k(1-k^2)}{(1+k^2)^2}\cos 2\varphi+\frac{2k(1-k^2)}{(1+k^2)^2}\cos 2\varphi.\cos\frac{2\pi\Theta}{\lambda}-\frac{1-k^2}{1+k^2}\sin 2\varphi.\sin\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right]$$

Setzt man $\frac{1+k^2}{2k}.tang\,2\varphi=tang\,\chi$, so werden die beiden letzten Glieder, oder:

$$\frac{1-k^2}{1+k^2}\left[\frac{2k}{1+k^2}\cos 2\varphi.\cos\frac{2\pi\Theta}{\lambda}-\sin 2\varphi.\sin\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right]$$

zu:

$$\frac{1-k^2}{1+k^2}\sqrt{\left[\frac{4k^2}{(1+4k^2)^2}\cos^2 2\varphi+\sin^2 2\varphi\right]}\cos\left(\frac{2\pi\Theta}{\lambda}+\chi\right),$$

und der Ausdruck für die Helligkeit wird:

$$\frac{c^2}{2}\left[1-\frac{1-k^2}{1+k^2}\left(\sqrt{\frac{4k^2}{(1+k^2)^2}\cos^2 2\varphi+\sin^2 2\varphi}+\frac{2k}{1+k^2}\cos 2\varphi\right)+2\left(\frac{1-k^2}{1+k^2}\right)\sqrt{\left[\frac{4k^2}{(1+k^2)^2}\cos^2\varphi+\sin^2\varphi\right]}\cos^2\left(\frac{\pi\Theta}{\lambda}+\frac{\chi}{2}\right)\right.$$

Erstens. Da der Multiplicator von $cos^2\left(\frac{\pi\Theta}{\lambda}+\frac{\chi}{2}\right)$ niemals $=0$ wird, so lange k irgend einen Werth zwi-

schen 0 und 1 besitzt, so sind die Ringe an keiner Stelle ihres Umfangs unterbrochen.

Zweitens. Dieser Multiplicator ist jedoch klein, wenn k nahe $=1$ ist; er ist auch klein für einen kleinen Werth von k, wenn $\sin 2\varphi = 0$, d. h. wenn $\varphi = 0$, $= 90°$, $= 180°$, $= 270°$. Folglich wird es nahe an der Mitte keine Ringe geben, und in einiger Entfernung von der Mitte werden sie in den Linien parallel und senkrecht gegen die Reflexionsebene schwach seyn.

Drittens. Die Gestalt der dunkeln Ringe wird bestimmt, indem man $\cos^2\left(\frac{\pi\Theta}{\lambda} + \frac{\chi}{2}\right) = 0$ setzt, und die der hellen Ringe dadurch, dafs man dieselbe Gröfse $=1$ macht. Die erste dieser Voraussetzungen giebt:

$$\frac{\pi\Theta}{\lambda} + \frac{\chi}{2} = \frac{\pi}{2}, \text{ oder } = \frac{\pi}{3} \text{ u. s. w. und } \frac{\pi\Theta}{\lambda} = \frac{\pi}{2} - \frac{\chi}{2}$$

u. s. w.

Nun wächst χ von 0° bis 90°, von 90° bis 180° u. s. w., während 2φ zunimmt von 0° bis 90°, von 90° bis 180° u. s. w., folglich weicht χ niemals sehr von 2φ ab, und deshalb ist für die dunkeln Ringe annähernd:

$$\frac{\pi\Theta}{\lambda} = \frac{\pi}{2} - \varphi, \text{ oder } = \frac{3\pi}{2} - \varphi \text{ u. s. w.}$$

D. h. Θ nimmt bei Verringerung von φ fortwährend zu, und folglich wächst auch ϑ beständig, so wie φ abnimmt. Diefs zeigt, dafs die Curve eine Spirale ist, und zwar in negativer Richtung gedreht. Das Auge, wenn es über der Mitte gehalten wird, mufs nach der Linken gedreht werden, um die Curve zu verfolgen, wie sie sich von der Mitte entfernt, vorausgesetzt, dafs der Krystall ein rechtsgewundener sey. Ist der Krystall linksgewunden, so mufs das Zeichen von k geändert werden. Diefs ändert das Zeichen von χ, und nun dreht sich die Spirale in entgegengesetzter Richtung. Diefs alles stimmt vollkommen mit der Beobachtung.

Viertens. Nehmen wir den Radius Vector in ent-

gegengesetzter Richtung in Bezug auf die, welche irgend einen Punkt der Spirale entspricht, d. h. vergröfsern wir φ um 180°, so finden wir für die neuen Werthe von Θ in den dunkeln Ringen annähernd:

$$\frac{\pi}{2}-(\varphi+180^{\circ}),\ \frac{3\pi}{2}-(\varphi+180^{\circ}),\ \frac{5\pi}{2}-(\varphi+180^{\circ})\text{ etc.}$$

oder:

$$-\frac{\pi}{2}-\varphi,\ \frac{\pi}{2}-\varphi,\ \frac{3\pi}{2}-\varphi,\ \text{u. s. w.}$$

Diefs ist genau dieselbe Reihe, wie die für die anfängliche Richtung des Radius vector, und deshalb sind die Werthe von ϑ durchaus dieselben für jeden Radius vector und den ihm entgegengesetzten. Allein die Curve ist, wie wir zuvor gesehen, eine Spirale. Diese beiden Bedingungen erfordern, dafs die dunkeln Linien die Gestalt zweier in einander gewickelter, in ihrer Lage um 180° verschiedener, sonst aber gleicher Spiralen besitzen. Allein keine andere Aenderung von φ giebt dieselben Werthe für Θ in den dunkeln Ringen. Folglich haben die dunkeln Ringe die Gestalt zweier, und nicht mehrerer Spiralen, die entgegengesetzte Lage besitzen und sich in gleicher Richtung drehen. Dieser merkwürdige Schlufs wird durch die Erfahrung bestätigt.

Fünftens. Wenn 2φ zwischen 0° und 90° liegt, ist χ gröfser als 2φ; wenn aber 2φ zwischen 90° und 180° liegt, ist χ kleiner als 2φ, und so für die folgenden Quadranten; d. h. wenn φ zwischen 0° und 45° liegt, ist χ zu grofs oder Θ zu klein für eine Spirale von gleichförmiger Annäherung zum Centrum; wenn φ zwischen 45° und 90° liegt, ist Θ zu grofs. Diefs zeigt, dafs die Spirale ein quadratisches Ansehen haben wird, was auch wirklich mit der Erfahrung übereinstimmt.

Sechstens. Der Ausdruck für die Helligkeit der Mitte (wo $k=1$) ist einfach $\frac{c^2}{2}$. Da derselbe unabhängig ist von λ, so zeigt er, dafs in der Mitte dieselbe

Farbenmischung, die man angewandt hat, vorhanden ist, dafs die Mitte also bei gemeinem Lichte weifs ist.

Ich würde die Zeit der Leser unnöthigerweise in Anspruch nehmen, wenn ich die Untersuchung für den Fall, dafs das Parallelepiped in der Lage 135° wäre, durchführen wollte.

VIII. Im Artikel IV fanden wir, dafs die Ausdrücke für die Vibrationen des Lichts, welches anfänglich linear polarisirt war, und darauf durch eine Platte von rechtsgewundenem Quarz ging (wenn ξ für $\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)$ gesetzt, und der gemeinschaftliche Multiplicator $\frac{c}{1+k^2}$ fortgelassen wird) sind:

parallel Oo_1

$$\cos(\alpha+\varphi).\sin\xi+k\sin(\alpha+\varphi).\cos\xi,$$

parallel o_1o_2

$$k^2\sin(\alpha+\varphi)\sin\xi-k\cos(\alpha+\varphi)\cos\xi,$$

parallel Ee_1

$$k^2\cos(\alpha+\varphi)\sin\left[\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right]-k\sin(\alpha+\varphi)\cos\left[\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right]$$

parallel e_1e_2

$$\sin(\alpha+\varphi)\sin\left[\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right]+k\cos(\alpha+\varphi)\cos\left[\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right].$$

Wir haben diese nun zu zerlegen in elliptische Vibrationen, wie sie in einer eben so dicken Platte linksgewundenen Quarzes, deren Hauptschnitt in derselben Lage liegt, vor sich gehen. Es ist zu bemerken, dafs der Unterschied zwischen rechts- und linksgewundenem Quarz blofs in der Verschiedenheit des Zeichens von k besteht.

Nimmt man zuerst die Vibrationen parallel Oo_1 und o_1o_2, so hat man (Fig. 6 Taf. III):

$$Oo_1 = \text{Vibration parallel } O'o'_1 + \text{Vibrat. parall. } E'e'_1$$
$$= \omega\sin\xi + x\cos\xi + y\sin\xi + z\cos\xi$$

$o_1 o_2$ = Vibration parallel $o'_1 o'_2$ + Vibrat. parall. $e'_1 e'_2$

$$= -kx \sin\xi + k\omega \cos\xi + \frac{z}{k}\sin\xi - \frac{y}{k}\cos\xi.$$

Und vergleicht man die Coëfficienten von $\sin\xi$ und $\cos\xi$:

$$\cos(\alpha+\varphi) = \omega + y$$
$$k\sin(\alpha+\varphi) = x + z$$
$$k^2\sin(\alpha+\varphi) = -kx + \frac{z}{k}$$
$$-k\cos(\alpha+\varphi) = k\omega - \frac{y}{k}$$

woraus:

$$\omega = \frac{1-k^2}{1+k^2}\cos(\alpha+\varphi)$$
$$x = \frac{k(1-k^2)}{1+k^2}\sin(\alpha+\varphi)$$
$$y = \frac{2k^2}{1+k^2}\cos(\alpha+\varphi)$$
$$z = \frac{2k^3}{1+k^2}\sin(\alpha+\varphi).$$

Nach dem Austritt aus der zweiten Platte sind also die Schwingungen (wenn man, wie vorhin, den gemeinschaftlichen Factor $\frac{1}{1+k^2}$ fortläfst):

parallel $O'_1 o'_1$

$$(1-k^2)\cos(\alpha+\varphi)\sin\xi + k(1-k^2)\sin(\alpha+\varphi)\cos\xi$$

parallel $o'_1 o'_2$

$$-k^2(1-k^2)\sin(\alpha+\varphi)\sin\xi + k(1-k^2)\cos(\alpha+\varphi)\cos\xi$$

parallel $E e'_1$

$$2k^2.\cos(\alpha+\varphi)\sin\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right) + 2k^3.\sin(\alpha+\varphi)\cos\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

parallel $e'_1 e'_2$

$$2k^2\sin(\alpha+\varphi)\sin\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right) - 2k\cos(\alpha+\varphi)\cos\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

In ähnlicher Weise hat man für die Vibrationen parallel $E e_1$ und $e_1 e_2$

$$E\,e_1 = \omega\sin\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)+x\cos\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$
$$+y\sin\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)+z\cos\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$
$$e_1 e_2 = -kx\sin\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)+k\omega\cos\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$
$$+\frac{z}{k}\sin\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)-\frac{y}{k}\cos\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

Aus dem Vergleich der Coëfficienten von

$$\sin\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right) \text{ und } \cos\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

folgt;

$$k^2\cos(\alpha+\varphi)=\omega+y$$
$$-k\ \sin(\alpha+\varphi)=x+z$$
$$\sin(\alpha+\varphi=-kx+\frac{z}{k}$$
$$k\cos(\alpha+\varphi)=k\omega-\frac{y}{k},$$

woraus:

$$\omega=\frac{2k^2}{1+k^2}\cos(\alpha+\varphi)$$
$$x=\frac{-2k}{1+k^2}\sin(\alpha+\varphi)$$
$$y=\frac{-k^2(1-k^2)}{1+k^2}\cos(\alpha+\varphi)$$
$$z=\frac{k(1-k^2)}{1+k^2}\sin(\alpha+\varphi).$$

Sonach sind die Schwingungen nach dem Austritt aus der zweiten Platte (wenn man $\frac{1}{1+k^2}$ fortläfst):

parallel $O'o'_1$

$$2k^2\,.\cos(\alpha+\varphi)\sin\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$
$$-2k\ .\sin(\alpha+\varphi)\cos\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

parallel $o'_1 o'_2$

$$2k^2 \sin(\alpha+\varphi)\sin\left(\xi+2\frac{\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

$$+2k^3 \cos(\alpha+\varphi)\cos\left(\xi+2\frac{\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

parallel $E'e'_1$

$$-k^2(1-k^2)\cos(\alpha+\varphi)\sin\left(\xi+4\frac{\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

$$+k\,(1-k^2)\sin(\alpha+\varphi)\cos\left(\xi+4\frac{\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

parallel $e'_1 e'_2$

$$(1-k^2)\sin(\alpha+\varphi)\sin\left(\xi+\frac{4\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

$$+k\,(1-k^2)\cos(\alpha+\varphi)\cos\left(\xi+\frac{4\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

Addirt man die Vibrationen von gleicher Richtung zusammen, so ergiebt sich $\left(\text{mit Fortlassung des Factors } \frac{c}{(1+k^2)^2}\right)$:

Vibration parallel Oo_1

$$=(1-k^2)\cos(\alpha+\varphi)\sin\xi+k(1-k^2)\sin(\alpha+\varphi)\cos\xi$$

$$+4k^2\cos(\alpha+\varphi)\sin\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

$$-2k(1-k^2)\sin(\alpha+\varphi)\cos\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

$$-k^2(1-k^2)\cos(\alpha+\varphi)\sin\left(\xi+\frac{4\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

$$+k\,(1-k^2)\sin(\alpha+\varphi)\cos\left(\xi+\frac{4\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

Vibration parallel $o_1 o_2$

$$=-k^2(1-k^2)\sin(\alpha+\varphi)\sin\xi$$

$$+k(1-k^2)\cos(\alpha+\varphi)\cos\xi$$

$$+4k^2\sin(\alpha+\varphi)\sin\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

$$-2k(1-k^2)\cos(\alpha+\varphi)\cos\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

$$+(1-k^2)\sin(\alpha+\varphi)\sin\left(\xi+\frac{4\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

$$+k(1-k^2)\cos(\alpha+\varphi)\cos\left(\xi+\frac{4\pi\Theta}{\lambda}\right).$$

Um unnöthige Verallgemeinerungen zu vermeiden, wollen wir annehmen, die Reflexionsebenen der Spiegel kreuzen sich rechtwinklig, oder es sey $\alpha = 90^0$. Diefs giebt:

Vibrationen parallel Oo_1

$$-(1-k^2)\sin\varphi\sin\xi+k(1-k^2)\cos\varphi\cos\xi$$
$$-4k^2\sin\varphi\sin\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$
$$-2k(1-k^2)\cos\varphi\,.\cos\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$
$$+k^2(1-k^2)\sin\varphi\sin\left(\xi+\frac{4\pi\Theta}{\lambda}\right)$$
$$+k(1-k^2)\cos\varphi\cos\left(\xi+\frac{4\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

Vibrationen parallel $o_1 o_2$

$$=-k^2(1-k^2)\cos\varphi\,.\sin\xi-k(1-k^2)\sin\varphi\quad\cos\xi$$
$$+4k^2\cos\varphi\,.\sin\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$
$$+2k(1-k^2)\sin\varphi\cos\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$
$$+(1-k^1)\cos\varphi\sin\left(\xi+\frac{4\pi\Theta}{\lambda}\right)$$
$$-k(1-k^2)\sin\varphi\cos\left(\xi+\frac{\Theta 4\pi}{\lambda}\right)$$

Die wirksame, oder die auf AP_2 senkrechte Vibration wird gefunden, wenn man die erstere der eben entwickelten mit $\cos\varphi$, und die letztere mit $\sin\varphi$ multiplicirt, und ihre Summe nimmt. So haben wir:

$$-\frac{1-k^4}{2}\sin 2\varphi\,.\sin\xi+k(1-k^2)\cos 2\varphi\cos\xi$$
$$-2k(1-k^2)\cos 2\varphi\,.\cos\left(\xi+\frac{2\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

$$+\frac{1-k^4}{2}\sin 2\varphi\,.\sin\left(\xi+\frac{4\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

$$+k(1-k^2)\cos 2\varphi\,.\cos\left(\xi+\frac{4\pi\Theta}{\lambda}\right)$$

Der Coëfficient von $\sin\xi$ ist:

$$-\frac{1-k^4}{2}\sin 2\varphi+2k(1-k^2)\cos 2\varphi\,.\sin\frac{2\pi\Theta}{\lambda}$$

$$+\frac{1-k^4}{2}\sin 2\varphi\,.\cos\frac{4\pi\Theta}{\lambda}-k(1-k^2)\cos 2\varphi \sin\frac{4\pi\Theta}{\lambda}.$$

Der Coëfficient von $\cos\xi$ ist:

$$k(1-k^2)\cos 2\varphi-2k(1-k^2)\cos 2\varphi\,.\cos\frac{2\pi\Theta}{\lambda}$$

$$+\frac{1-k^4}{2}\sin 2\varphi\,.\sin\frac{4\pi\Theta}{\lambda}+k(1-k^2)\cos 2\varphi\,.\cos\frac{4\pi\Theta}{\lambda}$$

Nach sämmtlichen Reductionen ist die Summe ihrer Quadrate: $(1-k^2)^2\times$

$$\sin^2\frac{\pi\Theta}{\lambda}\left[4k\cos 2\varphi\,.\sin\frac{\pi\Theta}{\lambda}-2(1+k^2)\sin 2\varphi\cos\frac{\pi\Theta}{\lambda}\right]^2$$

Und stellen wir den Factor $\frac{c^2}{(1+k^2)^4}$ wieder her, haben wir für die Helligkeit:

$$c^2\left(\frac{1-k^2}{1+k^2}\right)^2.\sin^2\frac{\pi\Theta}{\lambda}\left[\frac{4k}{1+k^2}\cos 2\varphi\,.\sin\frac{\pi\Theta}{\lambda}\right.$$

$$\left.-2\sin 2\varphi\,.\cos\frac{\pi\Theta}{\lambda}\right]^2.$$

Erstens. Machen wir $\frac{1+k^2}{2k}\tang 2\varphi=\tang\chi$, so wird dieser Ausdruck:

$$c^2\frac{(1-k^2)^2}{(1+k^2)^4}\left[16k^2\cos^2 2\varphi\right.$$

$$\left.+4(1+k^2)^2\sin^2 2\varphi\right]\sin^2\frac{\pi\Theta}{\lambda}\,.\sin^2\left(\frac{\pi\Theta}{\lambda}-\chi\right].$$

Diefs verschwindet, oder es giebt schwarze Linien, wenn $\sin^2\frac{\pi\Theta}{\lambda}=0$, oder wenn:

$$\frac{\pi\Theta}{\lambda}=0,\text{ oder }=\pi,\text{ oder }=2\pi\text{ u. s. w.}$$

Diefs deutet eine Reihe dunkler Ringe an von gleichen Durchmessern, wie die Ringe, welche man mit jeder Platte für sich erhält.

Zweitens. Der Ausdruck verschwindet ferner, wenn:

$$sin^2\left(\frac{\pi\Theta}{\lambda}-\chi\right)=0,$$

oder wenn:

$$\frac{\pi\Theta}{\lambda}=\chi, =\pi+\chi, =2\pi+\chi \text{ u. s. w.}$$

Wenn nun 2φ wächst von 0° bis 90°, von 90° bis 180° u. s. w., so wächst auch χ von 0° bis 90°, von 90° bis 180° u. s. w., und folglich wird χ nie sehr von 2φ abweichen, so dafs der Ausdruck verschwindet, wenn beinahe:

$$\frac{\pi\Theta}{\lambda}=2\varphi, =\pi+2\varphi, =2\pi+2\varphi \text{ u. s. w.}$$

Klar ist, dafs in der durch diese Gleichung bestimmten Curve Θ unaufhörlich wächst, so lange φ zunimmt, folglich, dafs auch ϑ fortwährend wächst, so lange φ sich vergröfsert. Die Curve ist demnach eine Spirale in solcher Lage, dafs wenn wir nach einem Punkt über dem Centrum sehen und der Curve gegen die rechte Hand folgen, der Radius vector beständig zunimmt.

Drittens. Vermehrt man nun φ um 90°, oder 180°, oder 270°, so erhalten wir dieselben Werthe für χ, vergröfsert um π, oder 2π, oder 3π. Die Werthe des Radius vector für einen Punkt der dunkeln Linien werden gefunden, wenn man $\frac{\pi\Theta}{\lambda}$ gleich setzt:

in der ersten dieser Linien:	$\pi+\chi$, $2\pi+\chi$, $3\pi+\chi$	etc.
- - zweiten - -	$2\pi+\chi$, $3\pi+\chi$, $4\pi+\chi$	-
- - dritten - -	$3\pi+\chi$, $4\pi+\chi$, $5\pi+\chi$	-

Diefs ist offenbar dieselbe Reihe von Werthen, wie die mit dem ursprünglichen Werthe von φ gefundene. Wenn wir demnach vier Radii vectores von gleicher Länge und unter einander rechtwinklig ziehen, und einer

dieser endigt in einem Punkt auf der dunkeln Curve, so werden auch die andern in Punkten auf der dunkeln Curve endigen. Diese Bedingung kann mit der Spiralform der Curve nur in der Annahme vereinbart werden, dafs die Curve aus vier ähnlichen Spiralen besteht, deren Lagen für je zwei benachbarte um 90° verschieden sind. Die allgemeine Form dieser Curven besteht demnach aus vier Spiralen, die in ihren Lagen um 90° von einander abweichen, und die, alle in derselben Richtung gedreht, eine Reihe von Kreisen schneiden. Diese sehr merkwürdige Form ist genau die, welche die Beobachtung giebt.

Viertens. Die Durchschnittspunkte der Spiralen mit den Kreisen werden gefunden, wenn man die beiden Gleichungen

$$sin^2\frac{\pi\Theta}{\lambda}=0 \text{ und } sin^2\left(\frac{\pi\Theta}{\lambda}-\chi\right)=0$$

gleichzeitig gelten läfst. Diefs giebt:

$$\chi=0, \text{ oder } =\pi, \text{ oder } =2\pi \text{ u. s. w.}$$

also:

$$\varphi=0, \text{ oder } =\tfrac{1}{2}\pi, \text{ oder } =\pi, \text{ oder } =\tfrac{3}{2}\pi \text{ u. s. w.}$$

D. h. die Durchschnittspunkte der Spiralen und Kreise liegen sämmtlich in den Linien, die parallel und senkrecht gegen die Reflexionsebene durch die Mitte gezogen werden. Diefs wird genau von der Erfahrung bestätigt.

Fünftens. Da jeder Kreis folgweise einen um π vergröfserten Werth von $\frac{\pi\Theta}{\lambda}$ verlangt, und eben so von Spirale zu Spirale für die Punkte, welche auf gleichem Radius vector liegen, successiv ein um π vergröfserter Werth von $\frac{\pi\Theta}{\lambda}$ erforderlich ist, so wird jeder Kreis in den oben erwähnten Linien, also in jedem Quadranten, von den Spiralen durchschnitten. Diefs ergiebt sich durch die Erfahrung als richtig.

Sechs-

Sechstens. Wenn wir die der Mitte benachbarten, und nicht auf dem Umfang eines der Kreise liegenden Theile betrachten, so wird der Winkel φ', der einem dunkeln Punkt entspricht, nahe seyn:

$$=\frac{\pi\Theta'}{2\lambda}, \text{ oder } =\frac{\pi\Theta'}{2\lambda}+90^0 \text{ u. s. w.}$$

wo Θ' der Werth ist von Θ, der $\vartheta=0$ entspricht; oder:

$$\Theta'=\frac{eT}{\lambda\pi},$$

folglich:

$$\varphi'=\frac{eT}{2\lambda^2}, \text{ oder } \frac{eT}{2\lambda^2}+90^0 \text{ u. s. w.}$$

Allein $\frac{eT}{\lambda^2}$ ist der Winkel, um den der Zerlegungsspiegel nach der Linken gedreht werden mufs, wenn man mit der rechtsgewundenen Platte für sich den dunkeln Fleck sehen will. Das dunkle Kreuz, in welchem die Spiralen entspringen, neigt also (mit dem oberen Theil gegen die Rechte) um einen Winkel halb so grofs wie der, durch welchen der Zerlegungsspiegel gedreht werden mufs (den oberen Theil nach der Linken), wenn man mit der rechtsgewundenen Platte für sich den dunkeln Fleck sehen will. Diefs scheint mit der Erfahrung übereinzustimmen,

Siebentens. Bis hieher haben wir immer vorausgesetzt, die rechtsgewundene Platte liege auf Seite des Polarisationsspiegels. Wenn die vereinten Quarzplatten umgekehrt werden, so dafs die linksgewundene dem Polarisationsspiegel zugewandt liegt, so mufs das Zeichen von k gewechselt werden. Diefs ändert auch das Zeichen von χ (das von φ als gleich geblieben vorausgesetzt), und es ist leicht zu ersehen, dafs, in Folge dieser Veränderung, die Richtung und Lage der Spiralen genau umgekehrt werden. Die Richtigkeit dieses ergiebt sich durch den Versuch.

Achtens. Für kleine Werthe von k wird die Hel-

ligkeit schwach, wenn $sin^2 2\varphi = 0$, d. h. wenn $\varphi = 0$, oder $= 90^\circ$ u. s. w. Diefs erklärt die dunkeln Büschel, welche, in grofsem Abstand von der Mitte, senkrecht und parallel gegen die Reflexionsebene liegend gesehen werden.

Neuntens. Ist $\varphi > 0 < 45^\circ$, so ist $\chi > 2\varphi$; ist aber $\varphi > 45 < 90^\circ$, so ist $\chi < 2\varphi$. Bedenkt man, dafs die Spiralen die Kreise schneiden, wenn $\varphi = 0$, $= 90^\circ$ etc., so sieht man hieraus auch leicht, dafs sie dieselben unter einem etwas gröfseren Winkel schneiden, als es eine einzige Spirale thun würde. Diefs scheint auch beim Versuche wahrnehmbar zu seyn.

Zehntens. Die auffallende Lebhaftigkeit der Farben scheint durch folgende Betrachtung erklärt werden zu können. Die dunkeln Curven werden hier bestimmt, indem man den Ausdruck für die Helligkeit gänzlich verschwinden läfst, wogegen man in andern Fällen (wie im Artikel VII) die dunkeln Curven findet, wenn man den Ausdruck für die Helligkeit blofs zu einem Minimum macht. Hier sind also die Farben viel weniger als in Artikel VII. mit unzersetztem farblosen Lichte verdünnt. In den Linien parallel und senkrecht gegen die Reflexionsebene, für die $\chi = 0$, ist der Ausdruck für die Helligkeit:

$$c^2 \frac{(1-k^2)^2}{(1+k^2)^4} 16 k^2 \, sin^4 \frac{\pi \Theta}{\lambda}.$$

Von der Mitte aus, diefs- und jenseits des Punktes, der $\frac{\pi \Theta}{\lambda} = n\pi$ entspricht, giebt es hier auf eine beträchtliche Strecke kein Licht; die Farben sind weniger gemengt, erscheinen daher lebhafter als vielleicht sonst in irgend einem Polarisationsphänomen. Die gröfste Helligkeit in diesen Linien, wenn k nicht sehr klein, ist vier Mal stärker als die gröfste Helligkeit in den Linien, die den Winkel 45° mit jenen machen (wie man es sieht, wenn man in dem Ausdruck für die Helligkeit $\varphi = 45^\circ$ macht). In Wirklichkeit sind auch die Farben am leb-

haftesten in den Linien parallel und senkrecht gegen die Reflexionsebene.

Es ist fast unnöthig, den Leser darauf aufmerksam zu machen, dafs keine der Eigenthümlichkeiten dieser Erscheinungen mehr stattfinden würden, sobald k entweder 0 oder 1 wäre, d. h. sobald das Licht entweder linear oder circular polarisirt wäre. Keiner dieser Ausdrücke wird jedoch geändert, wenn man statt k setzt $\frac{1}{k}$; d. h. es ist gleichgültig, von welchem Strahl wir annehmen, dafs die grofse Axe seiner Ellipse parallel dem Hauptschnitt liege.

Die Uebereinstimmung zwischen den beobachteten und berechneten Erscheinungen läfst, wie ich glaube, wohl nicht daran zweifeln, dafs das Licht der beiden Strahlen des Quarzes die von mir beschriebene Beschaffenheit habe. Ich meine damit nicht die Möglichkeit der Annahme auszuschliefsen, dafs die Form der Wellen (in der Construction zur Bestimmung des Laufs der Strahlen) nicht auch anders als genau sphärisch oder genau sphäroidisch sey, vorausgesetzt der Unterschied in den Formen sey nur nahe derselbe, wie der zwischen einer Kugel und einem Sphäroid. Auch will ich nicht behaupten, dafs jeder elliptisch polarisirte Strahl aus zwei linear polarisirten Strahlen bestehe, die getrennt durch den Zwischenraum von einer Viertel-Undulation auf einander folgen, oder dafs das Verhältnifs der beiden Axen in den zwei Strahlen genau gleich sey. Allein, ich halte es für ganz gewifs, dafs der allgemeine Charakter des Lichtes so ist, wie ich ihn in meinen Hypothesen aufgestellt habe.

Ich habe keine Berechnungen nach anderweitiger Voraussetzung gemacht, allein ich kann mir schwerlich einbilden,

dafs irgend eine andere die Erscheinungen mit solch aufserordentlicher Genauigkeit darstellen würde. Die Erklärung der fortwährenden Vergröfserung der Kreise und die allgemeine Darstellung der Spiralformen hat mich nicht so sehr überrascht, wie die Erklärung der unbedeutenden Abweichungen von der Symmetrie, wie z. B. die: dafs die Kreise fast in Quadrate übergehen, und dafs die Kreuze gegen die Polarisationsebene neigen. Ein Jeder, der meine mathematischen Untersuchungen studirt und meine Versuche wiederholt, wird, glaube ich, von deren vollkommenen Uebereinstimmung überrascht werden.

Es giebt eine Beziehung zwischen der zur Bestimmung des Laufs der Strahlen dienenden Construction und der Natur der Strahlen, welche, glaube ich, eine besondere Beachtung verdient, die nämlich (wenn man die Strahlen des Quarzes mit denen irgend eines anderen Krystalls vergleicht), dafs eine Aenderung in der Natur der Strahlen immer mit einer Unterbrechung der Continuität verbunden ist. Die Stücke (*nappes*) der Wellenoberflächen sind durchaus getrennt. Diefs ist nicht der Fall bei der gewöhnlichen Construction für einaxige Krystalle, noch bei Fresnel's Construction für zweiaxige Krystalle. Möglicherweise giebt es hier einen Zusammenhang gleicher Art wie zwischen dem Uebergang der partiellen in totale Reflexion innerhalb Glas, und der gleichzeitigen Umwandlung des linear polarisirten in elliptisch polarisirtes Licht. Diese Fälle sind wenigstens in so weit analog, als die Umwandlung des Lichts und die Unterbrechung der Continuität einen gemeinschaftlichen Gang nehmen. Doch wir sind in Betreff der physischen Constitution des Quarzes noch so im Dunkeln, dafs wir gegenwärtig nicht weiter gehen können.

Es könnte wünschenswerth erscheinen, dafs ich meine Voraussetzungen durch directere Versuche mit den einzelnen Strahlen des Quarzes geprüft hätte; allein meine Amtsgeschäfte gestatteten mir nicht die dazu nöthige Mufse.

Sie würden übrigens in jedem Fall mühsamer, und, wie mir scheint, doch nicht befriedigender als die hier beschriebenen gewesen seyn. Die Depolarisationserscheinungen eignen sich bewundernswürdig zur Entdeckung der zartesten Unterschiede in der Natur und des Laufs der Strahlen. Der Mangel an Zeit wird mich auch entschuldigen, dafs hier genaue Messungen *) fehlen, ohne welche keine Theorie, wie sehr sie auch in allgemeinen Erklärungen befriedigen mag, doch nicht als gänzlich festgestellt betrachtet werden kann.

Nachtrag.

Nachdem ich die im obigen Aufsatz beschriebenen Versuche angestellt hatte, erhielt ich von Hrn. Dollond einen nach meiner Anleitung verfertigten Apparat, welcher, hinsichtlich seines bequemen und mannigfaltigen Gebrauchs viele andere von mir gesehene übertrifft. Die Parallelstrahlen fallen auf eine rückwärts geschwärzte Platte Tafelglas, und, nachdem sie an dieser vollkommen polarisirt zurückgeworfen sind, auf eine Linse, von der sie erstlich in einem Punkt vereinigt, und dann divergirend auf eine zweite Linse geleitet werden, welche, da sie um ihre Brennweite von jenem Punkte absteht, die Strahlen parallel austreten läfst. In diesem Zustande werden sie von dem Zerlegungsspiegel (einer rückwärts geschwärzten Platte Tafelglas) aufgefangen, und also vollständig zer-

*) Sehr wünschenswerth wäre, dafs Jemand die Durchmesser der Ringe und Spirale, welche der Quarz zeigt, in verschiedenen Richtungen genau messe, und, mittelst der Biot'schen Messungen über die Stärke der Doppelbrechung des Quarzes, einen Vergleich mit der Theorie unternehme. Sollten Beobachtung und Theorie nicht übereinstimmen, so würde daraus folgen, entweder, dafs in der Theorie ein Fehler stecke, oder dafs der Unterschied in der Krümmung der Kugel und des Sphäroids nahe an dessen Scheiteln nicht so ist, wie er sich aus der Huyghens'schen Construction, nach der obigen Modification, ergiebt.

legt. Hierauf fallen sie auf eine dritte Linse, welche, wie das Ocularglas eines Fernrohrs, in einer ausziehbaren Röhre befestigt ist, und sie alle durch das Augenloch gehen macht. Die Linsen sind von gleicher Brennweite, und genau so gestellt, wie die in den alten dreiglasigen Ocularstücken, wenn man den Abstand zwischen der zweiten und dritten Linse längs dem einfallenden und reflectirten Strahl mifst. Der Zerlegungsspiegel ist, mit der zweiten und dritten Linse, drehbar um eine Axe parallel den am ersten Spiegel polarisirten Strahlen, welche durch die Mitten der ersten und zweiten Linse gehen.

Um in einem Krystall die Ringe und andere Erscheinungen sichtbar zu machen, mufs man ihn dorthin bringen, wo sich zwischen der ersten und zweiten Linse die Strahlen kreuzen. Ein Stück von $\frac{1}{20}$ Zoll Breite daselbst angebracht, wird die Ringe mit vollkommener Lebhaftigkeit und Klarheit in ihrer gröfsten Ausbildung zeigen. Wünscht man ein Mikrometer zu gebrauchen, so mufs dieses zwischen dem Polarisationsspiegel und der ersten Linse angebracht werden, und zwar von dieser um ihre Brennweite entfernt, wodurch es, zugleich mit den Ringen, deutlich gesehen wird. Wünscht man die fleckige Structur des Quarzes, Amethystes und Topases u. s. w. zu sehen, so mufs man diese Substanzen an die eben für das Mikrometer angegebene Stelle bringen; dann sind keine Ringe sichtbar, allein wenn man den Zerlegungsapparat in azimuthaler Richtung dreht, erscheinen die einzelnen Theile verschiedenartig gefärbt.

Wendet man nur linear polarisirtes Licht an, so genügt es, wenn der Polarisationsspiegel so grofs als die Projection der ersten Linse ist, und der Abstand zwischen der Linse und dem ihr am nächsten liegenden Rand des Polarisationsspiegels braucht nur wenig gröfser als die Brennweite dieser Linse zu seyn. Da ich aber gegenwärtig jeden Apparat für unvollständig halte, der nicht

die Anwendung des circular und des elliptisch polarisirten Lichts erlaubt, so habe ich den Polarisationsspiegel so weit von der Linse entfernt, dafs man Fresnel's Parallepiped, gefafst wie in Fig. 1 Taf. III, zwischen beiden aubringen kann, und zwischen dem Parallelepiped und der Linse noch Raum für das Mikrometer u. s. w. übrig bleibt. Ueberdiefs ist der Polarisationsspiegel so grofs genommen, dafs er, unter welchen Winkel das Parallelepiped auch gestellt seyn mag, noch linear polarisirtes Licht zu dem einen Ende desselben schicken kann, während das andere Ende gerade der ersten Linse mitten gegenübersteht.

Um künstliches Licht mit Leichtigkeit anzuwenden, wird eine Lampe in den Brennpunkt einer Linse gestellt, deren Durchmesser gleich ist dem des Kreises, welchen die Spitze des Parallelepipeds beschreibt. Das Brett, welches Lampe und Linse trägt, ist unter solchem Winkel ausgeschnitten, dafs, wenn es mit seiner niedrigen Seite an das Gestell des Apparats geschoben wird, der Polarisationsspiegel das Licht ohne weitere Ajustirung in der gehörigen Richtung zurückwirft.

Die Vorzüge dieses Apparats sind: dafs man mit ihm, bei Tage wie bei Nacht, an einer sehr kleinen Krystallplatte alle Erscheinungen des linear und elliptisch polarisirten Lichts unter dem gröfsten Gesichtswinkel, welchen das Auge zu umspannen vermag, wahrnehmen und mit bisher noch nicht gekannter Bequemlichkeit messen kann; dafs man z. B. einen fleckigen Krystall oder ein Stück schnell abgekühlten Glases durch successive Untersuchung der verschiedenen kleinen Theile gleichsam zerschneiden kann, dafs eine zufällige Unebenheit oder Rauhheit des Krystalls keinen merklichen Einflufs hat, und dafs man, wenn das Krystallstück in die andere Lage gebracht wird, die fleckige Structur mit ungemeiner Deutlichkeit zeigen kann.

Bei Untersuchung der zuvor beschriebenen Erschei-

nungen, welche der Quarz darbietet, wenn man ihn dem circular polarisirten Lichte aussetzt, stiefs ich auf grofse Schwierigkeiten, weil, wenn ich Fresnel's Parallelepiped bei dem gewöhnlichen Polarisationsapparat anwandte, das Gesichtsfeld sehr verengert wurde. Bei Untersuchung der beiden in einander gewundenen Spiralen konnte ich wenig mehr als eine einzige Linie zur Zeit erblicken, und nur durch sorgfältige Drehung des Krystalls konnte ich die Beziehung einer Linie zu der andern auffinden. Hauptsächlich, um diese Schwierigkeit zu beseitigen, erdachte ich den hier beschriebenen Apparat; in diesem kann ich die Spiralbogen mit einem Male ganz übersehen, so weit als die Farben noch wahrnehmbar sind. Es hat mich sehr befriedigt, zu sehen, dafs meine früheren Zeichnungen ganz richtig waren.

Beim Nachdenken über meine Hypothesen in Betreff der Natur der beiden Strahlen des Bergkrystalls ergiebt sich die folgende Methode als ein Mittel zur Prüfung eines Theils dieser Hypothesen und zur Messung der Ellipticität der Strahlen. Gesetzt, es werde elliptisch polarisirtes Licht (erhalten dadurch, dafs man Fresnel's Parallelepiped in eine Lage zwischen 0° und 45°, oder zwischen 90° und 135° bringt) durch Bergkrystall geleitet. Dieser mag nun rechts- oder linksgewunden seyn, so giebt es eine Richtung (*A*), in welcher der eine Strahl des Bergkrystalls, z. B. der gewöhnliche, gerade von gleicher Beschaffenheit ist mit dem einfallenden elliptischen Lichte. Folglich liefert diefs Licht keinen ungewöhnlichen Strahl. Nehmen wir nun eine Richtung (*a*), die um den möglich kleinsten Winkel dem Parallelismus mit der Axe näher kommt, und eine andere (*b*), die um den möglich kleinsten Winkel sich von diesem Parallelismus weiter entfernt als die eben erwähnte Richtung (*A*), so wird dasselbe elliptische Licht, wenn es in den Richtun-

gen (*a*) oder (*b*) einfällt, ungewöhnliche Strahlen liefern, die, unabhängig von allen übrigen Ursachen, in ihrem Gange um eine halbe Wellenlänge verschieden sind. Denn das elliptische Licht, welches von gleicher Art ist mit dem gewöhnlichen Strahl (*A*) ist stärker elliptisch als der gewöhnliche Strahl in (*a*) und schwächer elliptisch als der in (*b*). Wenn wir demnach das elliptische Licht in (*a*) in einen gewöhnlichen und einen ungewöhnlichen Strahl zerlegen, so ist es das *Deficit* der Länge der kleinen Axe, was die ungewöhnlichen Strahlen hervorbringt, und, wenn dieselbe Zerlegung in (*b*) bewirkt wird, so ist es der *Ueberschufs* der Länge der kleinen Axe, was den ungewöhnlichen Strahl erzeugt. Wenn demnach die Vibration, welche in (*a*) den ungewöhnlichen Strahl erzeugt, in positiver Richtung geschieht, wird die, welche den ungewöhnlichen Strahl in (*b*) hervorbringt, in negativer Richtung geschehen, und so umgekehrt. Diefs bewirkt dasselbe, wie eine Verzögerung oder Beschleunigung um eine halbe Wellenlänge. Es ist leicht zu ersehen, dafs die Trennung beider Strahlen vermöge der Doppelbrechung hierauf keinen Einflufs hat, und dafs der Satz wahr bleibt, wie klein auch der Winkel zwischen den Richtungen (*a*) und (*b*) seyn möge, vorausgesetzt, dafs die eine Richtung einen gröfseren, und die andere einen kleineren Winkel mit der Axe mache, als die Richtung (*A*). Nun hängt bekanntlich die Reihenfolge der Ringe von der Zahl der Wellenlängen ab, welche der ungewöhnliche Strahl dem gewöhnlichen voraus ist, oder hinter ihm zurückbleibt. An dieser Stelle wird der Vorsprung oder die Verspätung plötzlich um eine halbe Welle geändert. Die Reihe der Ringe wird also plötzlich um eine halbe Ordnung geändert; die Ringe werden schwach, und dann zeigt sich in den Farben ein *Sprung* von einer halben Ordnung. Wird die Richtung des Strahls, in welcher dieser Sprung stattfindet, beobtet, so hat man die Richtung, in welcher der gewöhnli-

che Strahl gleiche Ellipticität wie das einfallende Licht besitzt, dessen Ellipticität durch die Stellung des Parallelepipeds bekannt ist.

Durch diese Betrachtung habe ich mich überzeugt, dafs sich die Beziehung zwischen der Richtung des Strahls und seiner Ellipticität sichtbar machen lasse. Bei Versuchen mit dem eben beschriebenen Apparat fand ich die Erscheinungen ganz meiner Erwartung gemäfs. Wird das Parallelepiped in die Lage 315° gebracht, so sind die Spiralen vollkommen. Wird es vorwärts gedreht, so brechen die inneren Bogen successiv in einer fast horizontalen Linie aus einander (wenn es ein linksgewundener Krystall ist), und der obere Theil von jedem vereinigt sich mit dem unteren Theil des nächst äufseren Bogens. Bei fortgesetztem Drehen klaffen nun auch die äufseren Bogen aus einander, bis das Parallelepiped die Lage 0° erreicht hat, wo die Figur aus vollkommenen Kreisen besteht. Dreht man noch weiter, so schlagen die Kreise successiv (die äufseren zuerst) in einer fast verticalen Linie aus einander, und wenn das Parallelepiped das Azimuth 45° erreicht hat, sind die Spiralen so vollkommen wie zuvor, nur um 90° verschoben. So sind bei jeder Lage des Parallelepipeds zwischen 0° und 45° u. s. w. einer oder mehrere der inneren Kreise zwar vollständig da, aber verzerrt, und die äufseren Kreise sind in zwei in einander gewickelte Spirale verwandelt. Klar ist, dafs die Spiralen an denjenigen Punkten anfangen, wo das elliptische Licht nur den gewöhnlichen Strahl liefert, da die Farben ein Viertel einer Ordnung innerhalb dieser Punkte, und ein Viertel einer Ordnung aufserhalb derselben gleich sind.

Der Schlufs, dafs die inneren Ringe aus Kreisen, und die äufseren aus zwei Spiralen bestehen, ergiebt sich leicht aus folgender Betrachtung. Das hineingelassene elliptisch polarisirte Licht hat in den mit der Krystallaxe sehr nahe zusammenfallenden Richtungen eine kürzere

kleine Axe als der gewöhnliche Strahl (dem allein es ähnlich ist), und deshalb wird es Curven erzeugen, denen ähnlich, welche das linearpolarisirte Licht hervorbringt, d. h. kreisähnliche Curven. In den sich weiter vom Parallelismus mit der Kystallaxe entfernenden Richtungen hat es aber eine gröſsere kleine Axe als der gewöhnliche Strahl, und deshalb bringt es Curven hervor, denen ähnlich, welche das circular polarisirte Licht erzeugt, d. h. zwei spiralförmige Curven, die in einander gewickelt sind. Es hält nicht schwer, nach den im vorhergehenden Aufsatze beschriebenen Grundsätzen eine genauere Untersuchung anzustellen; allein ich habe es nicht gethan, aus einem Grunde, welcher weiterhin klar werden wird.

Ich habe noch keine Gelegenheit gehabt, Messungen anzustellen, die genau genug gewesen wären, das Gesetz zwischen der Ellipticität der Strahlen und der Neigung, welche dieselben mit der Krystallaxe machen, auszumitteln. Als ausgemacht darf man jedoch Folgendes betrachten. Einer der Strahlen ist rechtsgewunden elliptisch, und der andere linksgewunden elliptisch (oder so nahe, daſs kein Unterschied wahrnehmbar). In dem einen Strahl liegt die groſse Axe der Ellipse senkrecht, und in dem andern parallel gegen den Hauptschnitt des Krystalls.

Durch eine vorläufige Messung über die Ellipticität der Strahlen glaube ich zu dem Schluſs berechtigt, daſs die Axen der Ellipse in dem gewöhnlichen Strahle sich mehr der Gleichheit nähern als in dem ungewöhnlichen. So z. B. wurde bei einer rechtsgewundenen Platte von 0,38 Zoll Dicke, und bei Anwendung eines rothen Glases, der erste rothe Ring zweifelhaft (wenn ich diesen Ausdruck gebrauchen darf, um den Zustand zu bezeichnen, wo der Ring auf solche Weise zerfällt, daſs es schwer hält zu sagen, ob der Theil an einer Seite genauer mit dem äuſseren oder inneren Theil der anderen Seite verknüpft wird) als durch ein elliptisches Licht, dessen Axen das Verhältniſs:

$$\frac{\text{Kleine Axe}}{\text{Grofse Axe}} = tang\,17^\circ\,15'$$

hatten, nur ein gewöhnlicher Strahl, oder durch elliptisches Licht, bei dem war:

$$\frac{\text{Kleine Axe}}{\text{Grofse Axe}} = tang\,16^\circ\,2',$$

nur ein ungewöhnlicher Strahl hervorgebracht wurde.

Bei einer linksgewundenen Platte, von 0,16 Zoll Dicke, wurde der erste rothe Ring zweifelhaft, als mit elliptischen Lichte, für das

$$\frac{\text{Kleine Axe}}{\text{Grofse Axe}} = tang\,9^\circ\,3'$$

war, blofs ein gewöhnlicher Strahl, oder mit elliptischem Lichte, für das

$$\frac{\text{Kleine Axe}}{\text{Grofse Axe}} = tang\,8^\circ\,50'$$

war, blofs ein ungewöhnlicher Strahl entstand.

Das erste Resultat ist das Mittel aus 8 Messungen, und das zweite das Mittel aus 4 Messungen *). Die Nullpunkte der Theilung am Parallelepiped wurde dadurch bestimmt, dafs man beobachtete, wann die Ringe des Kalkspaths nicht zerbrochen waren. Diese Bestimmung ist sehr genau; wenn sie indefs unrichtig ist, so wirkt jeder Fehler in der Lage des Nullpunkts, eben so wie jede Unvollkommenheit in der Construction des Parallelepipeds, bei rechts gewundenen Platten umgekehrt wie bei linksgewundenen, und eben deshalb habe ich beide Messungen gegeben. Aus der Verrückung des Kreises, welcher das Parallelepipedum trägt, ist kein Fehler zu befürchten, sobald derselbe mit 4 Nonien rechtwinklig gegen einander versehen ist, und man diese sämmtlich abliest. Sollte sich dennoch ein Fehler zeigen so kann

*) Im ersten dieser Fälle machten die Strahlen (nach einer rohen Messung) in *der Luft* den Winkel 9° 42′ und im letzten, ebenfalls in der Luft, den Winkel 13° 50′ mit der Krystallaxe.

er nur eine Folge seyn von der Trennung der Strahlen in dem Quarz, oder es tritt zu dem schon hinreichend complicirten Phänomen des Quarzes noch eine andere Anomalie hinzu. Da ich jedenfalls die vollkommene Gleichheit der Ellipticitäten als zweifelhaft betrachte, so habe ich keine mathematischen Untersuchungen mehr in jener Voraussetzung angestellt, obgleich der Unterschied der Ellipticitäten so klein ist, dafs daraus kein merklicher Irrthum entsteht.

Für den, der diese Versuche zu wiederholen wünscht, werden folgende Winke nicht ohne Nutzen seyn:

Es ist zweckmäfsig, wenn mit dem Parallelepiped, parallel oder senkrecht gegen dessen innere Reflexionsebene, ein Draht herumgeführt wird, und zwar an dem zuvor für das Mikrometer angegebenen Orte, da alsdann der Beobachter sieht, dafs die Linie vom Mittelpunkt der Ringe zu dem Punkt, wo die Erscheinungen zweifelhaft werden, entweder mit dem Draht parallel oder auf ihm senkrecht ist.

Das elliptisch polarisirte Licht ist gleicher Art (immer rechts gewunden), das Parallelepiped mag zwischen 0° und 90° oder zwischen 180° und 270° liegen; dagegen ist es immer linksgewunden, wenn das Parallelepiped zwischen 90° und 180° oder zwischen 270° und 360° liegt.

Das Verhältnifs der Axen ist gleich der Tangente des Winkels, den die Reflexionsebene des Parallelepipeds mit der ursprünglichen Polarisationsebene macht (*the tangent of the reading of the rhomb-position*). Die grofse Axe ist parallel derjenigen Kante an der (rectangulären) Basis des Parallelepipeds (*parallel to that edge of the end of the rhomb*), welche den gröfsten Winkel macht mit der Reflexionsebene des Polarisationsspiegels.

Wenn die Verworrenheit rechts oder links von der Mitte eintritt, ist es der gewöhnliche Strahl, welcher

sie hervorbringt; findet sie dagegen über oder unter der Mitte statt, so rührt sie vom ungewöhnlichen Strahl her.

Vielleicht ist es nicht unpassend, diesem Aufsatz noch die folgende Hypothese zur Erklärung der ungleichen Brechbarkeit der verschiedenen Farbenstrahlen hinzuzufügen.

Um die Verschiedenheit der Brechbarkeit zu erklären, mufs man annehmen, dafs die Geschwindigkeit der Wellen von verschiedener Länge verschieden sey, entweder in der Luft oder in dem brechenden Mittel, oder in beiden. Wäre sie in der Luft verschieden, so würde sie die Aberration der Sterne um eine wahrnehmbare Gröfse abändern; allein es ist kein Grund zu einer solchen Annahme vorhanden. Es ist daher wahrscheinlich, dafs die Verschiedenheit gänzlich in dem brechenden Mittel liege. Nun ist vor Allem zu bemerken, dafs der Geschwindigkeitsunterschied nicht von der Gröfse der Vibration jedes einzelnen Theilchens abhängt, denn dieser Unterschied bleibt derselbe, das Licht mag schwach oder stark, d. h. die Vibration klein oder grofs seyn. Auch hängt er nicht von der relativen Vibration zweier benachbarten Theilchen ab, da diese in demselben Verhältnifs wie jene mit einer Variation der Intensität variirt. Das einzige Element, welches, in Verbindung mit einer dieser Gröfsen, die Undulation bestimmt, ist die Dauer der Vibration, und es ist in der That diese Dauer, wodurch sich die verschiedenen Lichtarten unterscheiden. Es scheint daher natürlich, die Erklärung über die Verschiedenheit der Geschwindigkeiten in Etwas zu suchen, was nicht von dem Raum, sondern von der Zeit abhängt. Nun haben wir allen Grund zu glauben, dafs ein Theil der Geschwindigkeit des Schalls von dem Umstand abhängt: dafs bei plötzlicher Condensation der Luft die entwickelte Wärme nicht Zeit zum Entweichen hat, und dafs

dadurch die Elasticität gröſser wird als bei langsamer Condensation, daſs also wirklich das Gesetz der Elasticität geändert wird.

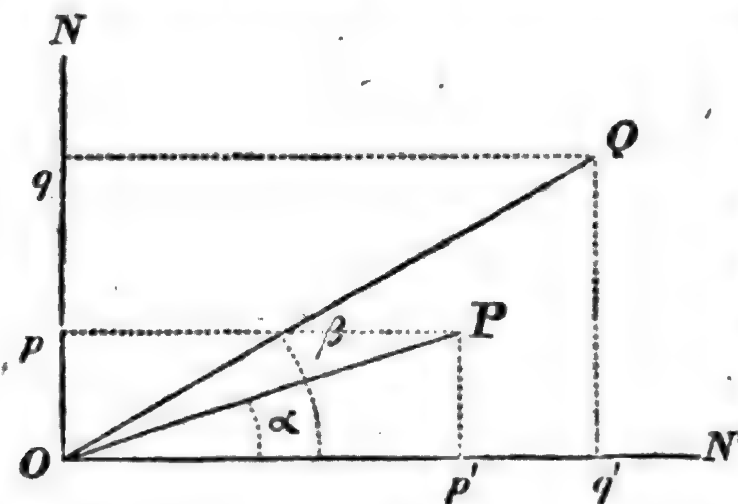
Meine Hypothese ist nun, daſs in den brechenden Mitteln vielleicht ein von der Zeit abhängiges Etwas vorhanden ist, was die Elasticität derselben auf eben die Weise abändert, wie die Wärme die Elasticität der Luft, daſs nämlich die Elasticität der lichtbrechenden Mittel, eben so wie die der Luft, bei rascher Vibration der Theilchen gröſser sey als bei einer langsameren. Vielleicht findet auch das Umgekehrte statt, d. h. bei rascher Vibration hat die latente Wärme (oder was es sonst seyn mag) nicht Zeit zur Ausübung ihres Einflusses auf die Elasticität. Im letzteren Fall wird die Elasticität, und folglich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit am gröſsten seyn für die langsamsten Vibrationen, d. h. für die rothen Strahlen, und diese werden daher am wenigsten gebrochen. Ich bin nicht vorbereitet zu sagen, ob das allgemeine Gesetz der Superposition kleiner Vibrationen mit dieser Hypothese verträglich sey.

13. April 1831.

Zusatz des Herausgebers. Die Zerfällung der linear polarisirten Strahlen in elliptisch polarisirte, von der in der eben geschlossenen Abhandlung (S. 231) die Rede war, steht mit der Zusammensetzung der letzteren Lichtart aus ersterer in so natürlicher Beziehung, daſs ich nicht unterlassen kann, über diesen anziehenden Gegenstand noch einige Sätze aus Fresnel's unvergleichlichen Arbeiten mitzutheilen, die daselbst theils unmittelbar gegeben, theils angedeutet, in nachfolgender Gestalt und Verbindung vielleicht aber noch nicht aufgestellt worden sind.

Ein elliptisch polarisirter Strahl läſst sich betrachten als entstanden aus dem Zusammenwirken zweier linear polarisirten Strahlen, die in einer und derselben Rich-

tung fortgehen, im Allgemeinen aber unterschieden seyn können: 1) durch die Gröfse der Oscillationen in den Wellen, 2) durch die Richtung derselben, und 3) durch den Gang oder den Abstand zwischen den entsprechenden Punkten beider Wellensysteme. Zwei solche Strahlen mögen die Ebene der nebenstehenden Figur in O senkrecht durchschneiden. Die Gröfse und Richtung der Oscillationen in ihren Wellen sey durch die Länge und Lage der Linien OP, OQ, die mit ON' die Winkel α und β bilden, vorgestellt, und der Gangunterschied zwischen ihnen durch $m\lambda$ ausgedrückt, wo λ die Undulationslänge und m irgend eine Zahl bezeichnet.



Da kleine Oscillationen sich wie Kräfte zerlegen lassen, so kann man die beiden Wellensysteme, in denen die Aetherfheilchen parallel den Linien OP, OQ schwingen, durch vier andere ersetzen, in welchen jene Theilchen ihre Oscillationen parallel den auf einander rechtwinkligen Linien ON, ON' vollziehen. Wird die Oscillationsamplitude in den beiden ersten Systemen mit P, Q, und die in den vier letzten mit p, p', q, q' bezeichnet, so ergiebt sich demnach:

parallel ON	parallel ON'
$p = P \,.\, \sin\alpha$	$p' = P \,.\, \cos\alpha$
$q = Q \,.\, \sin\beta$	$q' = Q \,.\, \cos\beta$

Betrachten wir nun zunächst die beiden ersten Wellensysteme, in denen die Aethertheilchen parallel der Linie ON schwingen, und suchen dieselben zu einem einzigen Wellensystem, dessen Oscillationsebene gleichfalls durch diese Linie geht, zusammenzusetzen. Der Gangun-

unterschied zwischen ihnen wird offenbar noch $= m\lambda$ seyn, wie der zwischen den Systemen OP, OQ, aus deren Zerlegung sie entstanden sind. Das nämliche Aethertheilchen, welches von dem Anfangspunkt des ersteren dieser Wellensysteme um die Strecke z entfernt ist, steht also von dem des letzteren um $(z + m\lambda)$ ab, und in demselben Moment, da es von einer Welle des ersteren Systems um: $p \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - z)$ aus seiner Gleichgewichtslage abgelenkt wird, erfährt es von einer Welle des zweiten Systems die Ablenkung: $q \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - z - m\lambda)$. Da beide Impulse parallel der Linie ON geschehen, so hat man für die gesammte Ablenkung, welche das Aethertheilchen durch die vereinte Wirkung beider Wellensysteme erleidet, den Ausdruck:

$$p \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - z) + q \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - z - m\lambda),$$

über den man, was die Herleitung seiner Glieder betrifft, das Nähere S. 217 angegeben findet. Setzt man Kürze halber $\frac{2\pi}{\lambda}(vt - z) = \zeta$, so wird dieser Ausdruck:

$$p \sin \zeta + q \sin(\zeta - 2m\pi),$$

oder:

$$p \sin \zeta + q \sin \zeta \cos 2m\pi - q \cos \zeta \sin 2m\pi,$$

oder:

$$(p + q \cos 2m\pi) \sin \zeta - q \sin 2m\pi \cos \zeta.$$

Setzt man ferner:

$$M \cos 2n\pi = p + q \cos 2m\pi \quad \ldots\ldots \quad (I)$$

$$M \sin 2n\pi = q \sin 2m\pi \quad \ldots\ldots\ldots \quad (II)$$

wodurch:

$$M = \sqrt{p^2 + q^2 + 2pq \cos 2m\pi},$$

so kommt:

$$M \cos 2n\pi \sin \zeta - M \sin 2n\pi \cos \zeta,$$

oder:

$$M \sin(\zeta - 2n\pi),$$

also, wenn man ζ wiederum durch die ursprüngliche Gröfse ersetzt:

$$M \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-z)-2n\pi\right],$$

oder:

$$M \sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt-z-n\lambda).$$

Da dieser Ausdruck, der Form nach, ganz identisch ist mit jeder der beiden Gröfsen, aus deren Summation er hervorgegangen ist, so folgt, dafs die beiden Wellensysteme, deren Oscillationsebenen durch die Linie ON gehen, und deren Gangunterschied $m\lambda$ beträgt, durch ihre Vereinigung ein System von eben so langen Wellen erzeugen. Die Formel zeigt aber auch, dafs das resultirende Wellensystem in seinem Gange von den beiden erzeugenden Systemen verschieden ist, von dem, welches den Coëfficienten p besitzt, um $n\lambda$, und von dem mit dem Coëfficienten q um $(m-n)\lambda$, so wie auch, dafs die Oscillationen in demselben die gröfsere Amplitude M besitzen.

Ganz eben so findet sich, dafs die beiden Wellensysteme, in denen die Aethertheilchen parallel der Linie ON' oscilliren, und gleichzeitig um die Strecken:

$$p' \sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt-z) \text{ und } q' \sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt-z-m\lambda)$$

aus ihrer Gleichgewichtslage abgelenkt werden, ein Wellensystem hervorbringen, in welchem die Aethertheilchen zur selben Zeit eine Ablenkung aus ihrer Gleichgewichtslage gleich:

$$M' \sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt-z-n'\lambda)$$

erfahren. Das Maximum dieser Ablenkung, oder die Oscillationsamplitude M' und die Gangverschiedenheit n' (in Bezug auf das System, dessen Coëfficient $=p'$) sind für dieses System gegeben durch die Gleichungen:

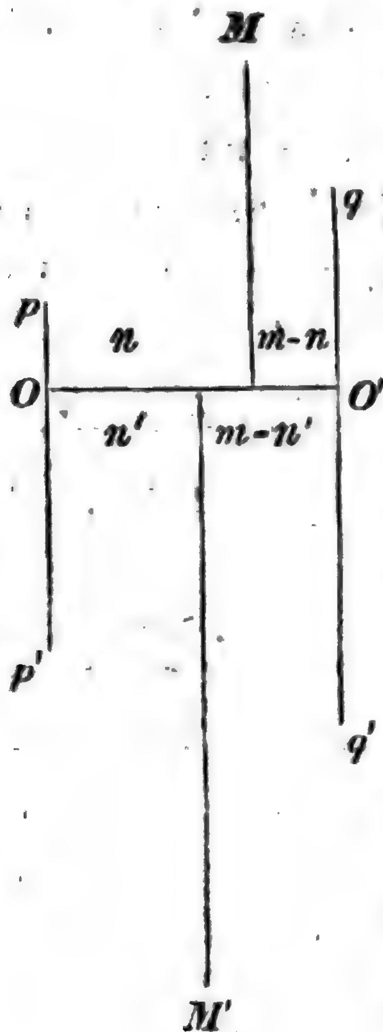
$$M' \cos 2n'\pi = p' + q' \cos 2m\pi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (III)$$

$$M' \sin 2n'\pi = q' \sin 2m\pi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (IV)$$

wodurch:

$$M' = \sqrt{p'^2 + q'^2 + 2p'q' \cos 2m\pi}.$$

Während also die Wellensysteme P und Q (wenn wir Kürze halber die Wellensysteme nach den Coëfficienten ihrer Oscillationsamplitude benennen) gleich wie ihre Componenten p, q und p', q' im Gange um $m\lambda$ verschieden sind, findet zwischen den Systemen M (der Resultante von p und q) und M' (der Resultante von p' und q') der Gangunterschied $n'-n$ statt. Ferner ist der Gangunterschied zwischen M und p gleich n, also der zwischen M und q gleich $m-n$; eben so ist der zwischen M' und p' gleich n', und der zwischen M' und q' gleich $m'-n'$. Die nebenstehende Figur, in der man sich die Ebene OMO' als senkrecht stehend auf der Ebene $OM'O'$, und beide Ebenen als senkrecht auf der Ebene der früheren Figur zu denken hat, wird diefs vollends verdeutlichen. OO' ist die gemeinschaftliche Richtung der beiden Strahlen, und die auf dieser Richtung, und, von ihr ab, nach oben und unten gezogenen Linien bezeichnen durch ihre Länge und Stelle die Oscillationsamplitude und den Gangunterschied der sechs Wellensysteme, zu denen die Systeme P und Q Veranlassung gaben.



Multiplicirt man die Gleichung (I) mit $\sin 2m\pi$, so wie die Gleichung (II) mit $\cos 2m\pi$, und zieht dann beide von einander ab, so kommt:

$$M . \sin 2(m-n)\pi = p . \sin 2m\pi \quad . \quad . \quad . \quad (V)$$

Multiplicirt man ferner die Gleichung (I) mit $\cos 2m\pi$, und die Gleichung (II) mit $\sin 2m\pi$, so hat man nach Addition:

$$M.\cos 2(m-n)\pi = q + p\cos 2m\pi \quad . \quad . \quad (VI)$$

Ganz auf ähnliche Weise findet man:

$$M'.\sin 2(m-n')\pi = p'.\sin 2m\pi \quad . \quad . \quad . \quad (VII)$$

$$M'.\cos 2(m-n')\pi = q' + p'\cos 2m\pi \quad . \quad (VIII)$$

Aus der Division der Gleichung (V) durch die Gleichung (II) und der Gleichung (VII) durch die Gleichung (IV) ergiebt sich:

$$\frac{\sin 2(m-n)\pi}{\sin 2n\pi} = \frac{p}{q}\,;\quad \frac{\sin 2(m-n')\pi}{\sin 2n'\pi} = \frac{p'}{q'}$$

Diefs zeigt, dafs der Gangunterschied zwischen dem Wellensysteme M und seinen beiden Erzeugern, nämlich die Gröfsen $(m-n)$ und n, im umgekehrten Verhältnisse zu den Coëfficienten q und p, oder den Oscillationsamplituden der anliegenden Systeme stehen. Gleiches gilt von $(m-n')$ und n' in Bezug auf q' und p'.

Multiplicirt man die Gleichung (IV) mit Gleichung (I) und die Gleichung (II) mit Gleichung (III), und zieht die Producte von einander ab, so bekommt man, nach gemachter Reduction:

$$\sin 2(n'-n)\pi = \frac{1}{MM'}(pq'-p'q)\sin 2m\pi,$$

oder wenn man für p, q, p', q' die ursprünglichen Werthe setzt:

$$\sin 2(n'-n)\pi = \frac{PQ}{MM'}\sin(\alpha-\beta)\sin 2m\pi.$$

Dieser Ausdruck giebt also den Gangunterschied $(n'-n)$ der beiden auf einander rechtwinklig polarisirten Wellensysteme M, M' in Function ihrer und der ursprünglichen Wellensysteme P, Q Oscillationsamplitude, des Gangunterschiedes und des Winkels zwischen den Oscillationsebenen (oder den auf diesen rechtwinkligen Polarisationsebenen) der beiden letzteren Systeme.

Durch Subtraction der Cotangenten, die sich aus den acht Gleichungen ergeben, erhält man auch:

$$\cot 2n\pi - \cot 2n'\pi = \frac{1}{\sin 2m\pi} \cdot \frac{P}{Q} \cdot \frac{\sin(\alpha-\beta)}{\sin\beta \cos\beta}$$

$$\cot 2(m-n')\pi - \cot 2(m-n)\pi = \frac{1}{\sin 2m\pi} \cdot \frac{Q}{P} \cdot \frac{\sin(\alpha-\beta)}{\sin\alpha \, . \, \cos\alpha},$$

wodurch $(n'-n)$ unabhängig von den etwas verwickelten Gröfsen M und M' gefunden wird.

Um nun die Curve zu bestimmen, welche die Aethertheilchen vermöge der nach den beiden rechtwinkligen Richtungen ON und ON' geschehenden gleichzeitigen Ablenkungen

$$M \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-z-n\lambda)\right] \; ; \; M' \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt-z-n'\lambda)\right]$$

beschreiben, betrachte man diese Ablenkungen als die rechtwinkligen Coordinaten x, y der Curve, setze zur Abkürzung a statt $\frac{2\pi}{\lambda} . vt$, ferner b statt $\frac{2\pi}{\lambda}(z-n\lambda)$ und c statt $\frac{2\pi}{\lambda}(z-n'\lambda)$, und eliminire dann die Zeit t aus den Ausdrücken:

$$\sin(a-b) = \frac{x}{M} \; ; \; \sin(a-c) = \frac{y}{M'}$$

Um diese Elimination mit Leichtigkeit zu vollziehen, erwäge man, dafs

$$(a-b)+(b-c)=(a-c),$$

folglich:

$$\sin[(a-b)+(b-c)]=\sin(a-c),$$

also:

$$\sin(a-b)\cos(b-c)+\cos(a-b)\sin(b-c)=\sin(a-c),$$

oder:

$$\sin(a-b)\cos(b-c)-\sin(a-c)=-\cos(a-b)\sin(b-c),$$

und wenn man die Gleichung in's Quadrat erhebt, $\cos^2(a-b)$ durch $1-\sin^2(a-b)$ ersetzt, und reducirt:

$$\sin^2(a-b)-2\cos(b-c)\sin(a-b)\sin(a-c)$$
$$+\sin^2(a-c)=\sin^2(b-c).$$

Setzt man hierin für $sin(a-b)$ und $sin(a-c)$ die obigen Werthe, und erwägt, dafs $(b-c)=2\pi(n'-n)$, so bekommt man, nach gemachter Reduction:

$$M^2 y^2 - 2\cos 2\pi(n'-n) MM' xy + M'^2 x^2$$
$$= M^2 M'^2 \sin^2 2\pi(n'-n)$$

offenbar die Gleichung für die Ellipse. Die Aethertheilchen, welche in der gemeinschaftlichen Richtung der beiden Strahlen liegen, deren Oscillationen, nach den auf einander rechtwinkligen Richtungen ON, ON' zerlegt, die Componenten

$$M \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt - z - n\lambda)\right] \text{ und } M' \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x - n'\lambda)\right]$$

geben, beschreiben demnach eine Ellipse.

Wie bekannt ist die Gleichung für die Ellipse, im Fall die unter sich rechtwinkligen Coordinaten x, y den Winkel φ mit den Axen a, b bilden, folgende:

$$(b^2 \sin^2\varphi + a^2 \cos^2\varphi) y^2 - 2(a^2 - b^2) \sin\varphi \cos\varphi\, xy$$
$$+ (a^2 \sin^2\varphi + b^2 \cos^2\varphi) x^2 = a^2 b^2.$$

Mit dieser ist, der Form nach, die eben gefundene:

$$M^2 y^2 - 2\cos 2\pi(n'-n) MM' xy + M'^2 x^2$$
$$= M^2 M'^2 \sin^2 2\pi(n'-n)$$

offenbar identisch, und daraus geht also hervor, dafs im Allgemeinen die grofse und kleine Axe der von den Aethertheilchen beschriebenen Ellipse nicht zusammenfallen mit den Richtungen der auf einander rechtwinkligen Oscillationen, aus deren Vereine die elliptische Bewegung als entstanden betrachtet werden kann, sondern, dafs sie mit ihnen einen Winkel bilden. Um diesen Winkel, der mit φ bezeichnet seyn mag, und die Axen a und b der Ellipse zu finden, braucht man nur die Coëfficienten von y^2, xy, x^2 in beiden Gleichungen einander gleich zu setzen. Diefs giebt:

$$\tang 2\varphi = \frac{2MM' \cos 2\pi(n'-n)}{M^2 - M'^2}$$

$$a^2 = \tfrac{1}{2}(M^2 + M'^2)$$
$$+ \tfrac{1}{2}\sqrt{(M^2 - M'^2)^2 + 4M^2 M'^2 \cos^2 2\pi(n'-n)}$$

$$b^2 = \frac{1}{2}(M^2 + M'^2) - \frac{1}{2}\sqrt{M^2 - M'^2 + 4M^2 M'^2 \cos^2 2\pi(n'-n)}$$

Wenn, während M und M' verschieden sind, $n'-n = \frac{1}{4}$ oder $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{7}{4}$ u. s. w. ist, d. h. der Gangunterschied zwischen den beiden rechtwinkligen Wellensystemen eine drei, fünf, sieben u. s. w. Viertel-Undulationen beträgt (in welchem Fall, und sonst nicht, die Gröfse

$$M \,.\, \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - z - n\lambda)$$

ihr Maximum oder Minimum (M oder Null) erreicht zur nämlichen Zeit, da die andere: $M' \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - z - n'\lambda)$ Null oder M' ist) wird $\cos 2\pi(n'-n) = 0$, und mithin:

$$\varphi = 0 \text{ oder } = 90^{\circ}$$
$$a = M$$
$$b = M';$$

folglich ist die Curve, welche die Aethertheilchen beschreiben, eine Ellipse, deren Axen in diesem Fall mit den Richtungen der auf einander senkrechten Oscillationen zusammenfallen.

Ist $n'-n = \frac{1}{4}$ oder gleich einer ungeraden Anzahl von Vierteln und zugleich $M = M'$ (d. h. wenn man zu den beiden ursprünglichen Wellensystemen P, Q zurückgeht:

$$0 = P^2 \cos 2\alpha + Q^2 \cos 2\beta + 2PQ \cos(\alpha+\beta) \cos 2m\pi)$$

so wird:

$$\tang 2\varphi = \frac{0}{0};\; a = b = M,$$

mithin ist nun die Ellipse in einen Kreis übergegangen, und das Licht nicht elliptisch, sondern circular polarisirt.

Ist $M = M'$, ohne dafs $n'-n = \frac{1}{4}$ oder überhaupt der Gangunterschied gleich einer ungeraden Zahl von Viertelundulationen ist, so hat man wiederum eine Ellipse, für die:

$$\varphi = 45^{\circ} \text{ oder } = 135^{\circ}$$
$$a = M\sqrt{1 + \cos 2\pi(n'-n)}$$
$$b = M\sqrt{1 - \cos 2\pi(n'-n)}$$

deren Axen also die rechten Winkel zwischen den Os-

Oscillationsrichtungen halbiren, der Gangunterschied, ist er nur nicht Null oder ein ganzes, gerades oder ungerades Multiplum von einer Viertel-Undulation, mag seyn wie er wolle.

Ist endlich $n'-n=0$ oder $=\frac{1}{2}, =1, =1\frac{1}{2}$ u. s. w., ohne dafs $M=M'$, so hat man:

$$tang\,2\varphi=\pm\frac{2MM'}{M^2-M'^2}$$
$$a=\sqrt{M^2+M'^2}$$
$$b=0,$$

woraus hervorgeht, dafs in diesen Fällen das Licht nicht mehr elliptisch, sondern linear polarisirt ist, da die Ellipse sich in eine gerade Linie verwandelt hat. Der Winkel, den diese Linie mit der Oscillationsebene des Wellensystems M macht, ist positiv für die Fälle $n'-n=0, =1, =2$ u. s. w. und negativ für die Fälle $n'-n=\frac{1}{2}, =\frac{3}{2}, =\frac{5}{2}$ u. s. w.; ist $M^2=M'^2$, so wird er $=45^0$ oder $=135^0$, und $a=M\sqrt{2}$.

Schliefslich mag hier noch die Bemerkung stehen, dafs gleich wie die elliptische Polarisation, der Theorie nach, von drei Elementen abhängig ist (von der Gröfse der Oscillationen, von der Richtung derselben und vom Gangunterschied der beiden linear polarisirten Strahlen), eben so auch die Hervorbringung des elliptisch polarisirten Lichts durch totale Reflexionen innerhalb Glas, deren Entdeckung wir Fresnel verdanken, von drei Elementen bedingt wird, nämlich: 1) von der Anzahl dieser Reflexionen, 2) von der Gröfse der inneren Einfallswinkel, und 3) von der Neigung der inneren Reflexionsebene gegen die Polarisationsebene des einfallenden linear polarisirten Lichts. Man sehe diese Annalen, Bd. XXI (97) S. 282 und Bd. XXII S. 125 *).

*) Berichtigungen:

S. 208 Z. 7 statt Circularpolarisation, lies: der elliptischen Polarisation.

S. 221 Z. 1 von unten, statt: $x-G$ lies: $x-\frac{\lambda G}{2\pi}$.

IV. *Einige Beugungs-Erscheinungen, beobachtet von J. F. W. Herschel.*

In dem Artikel: *Light*, welchen Hr. Herschel für die *Encyclopaedia Metropolitana Divis. II Vol. II* geschrieben hat, giebt derselbe, p. 491, als Nachtrag zu den bekannten Fraunhofer'schen Versuchen, von denen ein Auszug im Bd. 74 S. 337 d. Ann. enthalten ist, einige von ihm selbst angestellte Beobachtungen; da sie viel Interesse besitzen, und in dem Werke *), das im Ganzen nur eine, wiewohl vortreffliche, Zusammenstellung der bis Ende 1827 bekannten Arbeiten über das Licht enthält, leicht übersehen werden könnten, so wird es nicht überflüssig seyn, sie hier in Ausführlichkeit mitzutheilen.

Beobachtet man einen hellen Stern durch ein gutes Fernrohr bei schwacher Vergröfserung, so erscheint er als eine verdichtete Lichtmasse, deren Gestalt sich wegen ihres Glanzes nicht erkennen läfst, welche indefs, wie gut auch das Fernrohr seyn mag, selten frei ist von strahlenförmigen Auswüchsen. Wendet man aber eine 200- bis 300- oder 400malige Vergröfserung an, so erblickt man den Stern (unter den günstigen Umständen einer ruhigen Atmosphäre, gleichförmigen Temperatur u. s. w.) als eine vollkommen runde, wohl begränzte planetarische Scheibe, umgeben von zwei, drei oder mehreren abwechselnd dunkeln und hellen Ringen, welche, bei aufmerksamer Betrachtung, sich an ihren Rändern als schwach gefärbt erweisen. Sie folgen einander in fast gleichen Abständen, und sind in Fernröhren regelmäfsi-

*) Von dem durch das „*Lehrbuch der mathematischen und physischen Geographie*" (2 Theile, Göttingen 1829) rühmlichst bekannten Hrn. Dr. J. C. E. Schmidt ist ganz kürzlich eine sehr gute Uebersetzung dieses Werkes erschienen.

ger und vollkommener zu sehen als in Spiegelteleskopen, in denen auch die centrale Scheibe kleiner erscheint als in jenen.

Diese Scheiben wurden zuerst von William Herschel bemerkt, welcher zuerst Fernröhre mit so starker Vergröfserung anwandte, dafs sie sichtbar wurden. Sie sind nicht die wirklichen Bilder der Sterne, da diese in viel zu grofser Entfernung liegen, um bei irgend einer Vergröfserung einen sichtbaren Durchmesser zu zeigen, sondern *falsche* Bilder, die aus einer, bis jetzt noch etwas dunkeln optischen Ursache entspringen. Aus den Interferenzgesetzen ist klar, dafs (sobald der Spiegel oder das Objectiv vollkommen aplanatisch ist) der Brennpunkt in der Axe des Fernrohrs durch die von allen Punkten der Oberfläche dahin gelangenden und in vollkommener Uebereinstimmung stehenden Undulationen erschüttert wird, und daher äufserst glänzend erscheinen mufs. Entfernt man sich indefs von dem Brennpunkt in irgend einer auf der Axe senkrechten Richtung, so findet diese Uebereinstimmung nicht mehr statt, sondern die Strahlen, welche von der einen Seite des Objectivs kommen, heben die von der andern Seite auf, und in einiger Entfernung so vollkommen, dafs daraus ein dunkler Ring entsteht, welchem aus gleichem Grunde ein heller folgt, und so fort. Die Entstehung der centralen Scheibe und der Ringe ist hieraus klar, obgleich es schwierig seyn mag, nach diesen Datis ihre Gröfse zu berechnen. Indefs bekommt man hiedurch keinen Aufschlufs über eine der merkwürdigsten Sonderbarkeiten dieser Erscheinung, nämlich, dafs die scheinbare Gröfse der Scheibe bei jedem Sterne eine andere ist, immer desto beträchtlicher, je heller der Stern. Diefs kann keine blofse Täuschung seyn, weil, wenn man gleichzeitig zwei ungleich helle Sterne (z. B. einen Doppelstern) betrachtet, so dafs man sie unmittelbar mit einander vergleichen kann, die Ungleichheit ihrer falschen Durchmesser sehr auffallend ist; auch kann die

Erscheinung nicht von einer wirklichen Verschiedenheit der Sterne herrühren, weil die Dazwischenkunft einer Wolke, welche ihre Helligkeit vermindert, auch ihre scheinbaren Scheiben verkleinert, und zuletzt auf bloſse Punkte zurückführt. Auch kann es keiner Irradiation oder Fortpflanzung des Lichts auf der Netzhaut zugeschrieben werden, weil in diesem Fall das Licht der centralen Scheibe sich bis zu den Ringen ausbreiten und sie verwischen würde, falls wir nicht annehmen wollen, daſs die Vibrationen der Netzhaut nach gleichen Gesetzen wie die des Aethers geschehen, und fähig seyen, mit diesen zu interferiren, in welchem Falle die Scheibe und die Ringe der Netzhaut aus der Interferenz dieser beiden Arten von Undulationen entspringen würden.

Ohne weiter in diese sehr delicate Aufgabe einzudringen, wollen wir uns begnügen, einige Phänomene anzuführen, welche wir bei Auflegung verschieden geformter Diaphragmen auf die Spiegel oder Objective beobachtet haben, und eine nicht unpassende Ergänzung zu den von Fraunhofer beobachteten Wirkungen sehr kleiner Oeffnungen abgeben.

Wird die ganze Oeffnung des Fernrohrs durch ein kreisrundes Diaphragma begränzt, entweder dicht am Objectiv (oder Spiegel) oder in einiger Entfernung von demselben, so vergröſsern sich Scheibe und Ringe im umgekehrten Verhältniſs des Durchmessers der Oeffnung. Wurde die Oeffnung sehr verkleinert (für ein Fernrohr von 7 Fuſs Brennweite z. B. bis auf einen Zoll), so vergröſserte sich die Scheibe, daſs sie wie ein Planet aussah; sie war gut begränzt und nur von einem Ringe umgeben, der hell genug war, um deutlich gesehenzu werden, und von Innen aus folgende Reihe schwacher Farben zeigte: Weiſs, sehr schwaches Roth, Schwarz, sehr schwaches Blau, Weiſs, ungemein schwaches Roth, Schwarz. Wurde die Oeffnung noch weiter, bis auf einen halben Zoll, verkleinert, so waren die Ringe zu schwach, um sichtbar

zu seyn, und die Scheibe, welche zu einer ansehnlichen Gröfse angewachsen war, erhielt durch die jetzt sichtliche Abstufung des Lichts von ihrer Mitte nach dem Umfang ein nebliges, kometenartiges Ansehen.

Wurden ringförmige Oeffnungen angewandt, so waren die Erscheinungen ungemein auffallend und sehr regelmäfsig. Als der äufsere Durchmesser des Ringes 3 und der innere $1\frac{1}{4}$ Zoll mafs, erschien Capella als eine Scheibe, umgeben von zwei hellen Ringen, von denen der innere der breitere war, und von der Scheibe durch ein schmäleres Intervall als von dem äufseren Ringe getrennt wurde. Aehnlich war das Ansehen des Doppelsterns Castor; bei jedem seiner Sterne umgaben die kleine weifse Scheibe erst ein dunkler, dann ein heller breiterer, dann wieder ein schmaler dunkeler und zuletzt ein breiterer matter Ring; die drei letzten Ringe beider Sterne griffen in einander.

Wurde die Breite des ringförmigen Ausschnitts verringert, so nahm auch die Gröfse der Scheibe und die Breite der Ringe ab (dem entgegen, was bei Fraunhofer's Versuchen mit ungemein schmalen Ringen stattfand, ein Fingerzeig, dafs diese Erscheinungen von anderen Principien abzuleiten), die Zahl derselben aber zu. Mit ringförmigen Oeffnungen von 5",5—5",0 (d. h. deren äufserer Durchmesser =5",5 und deren innerer =5",0), von 0",7—0",5 und von 2",2—2",0 löste sich Capella in ein rundes Pünktchen auf, umgeben von einer Reihe concentrischer, abwechselnd heller und dunkler Ringe, die, bei Anwendung der schmälsten Apertur so zart und zahlreich waren, dafs man sie kaum zu zählen vermochte, und bei oberflächlicher Betrachtung einen blofsen Lichtfleck zu sehen glaubte. Wurde die Breite der letzteren Apertur auf die Hälfte (0",1) reducirt, so konnten die Zwischenräume der Ringe nicht mehr unterschieden werden. Die Durchmesser der Ringe und der Scheibe schienen im Allgemeinen der Gröfse $\frac{r'-r}{r}$ proportional zu seyn.

Aufser den Ringen, welche die Scheibe in unmittelbarer Nähe umgeben, erblickt man noch andere von gröfserem Durchmesser und schwächerem Licht, die den Höfen um die Himmelskörper ähnlich sind, und, nach Fraunhofer's Sprache, zu den Spectris der andern Klasse gehören. Bei einem einzelnen ringförmigen Ausschnitt sind sie zu schwach, um gehörig untersucht zu werden, wendet man aber eine Diaphragma von zwei concentrischen Ringen an, so sind sie sehr deutlich und auffallend.

Hat die Oeffnung die Gestalt eines gleichseitigen Dreiecks, so ist die Erscheinung ungemein schön; sie besteht dann aus einem vollkommen regelmäfsigen glänzenden, sechsstrahligen Stern, welcher eine gut begränzte kreisrunde Scheibe von grofser Helligkeit umgiebt. Die Strahlen hängen nicht mit der Scheibe zusammen, sondern sind von ihr durch einen dunkeln Ring getrennt. Sie sind sehr schmal, vollkommen gerade, und ausnehmend deutlich, weil alles zerstreute Licht, welches ohne Anwendung des Diaphragma's das Gesichtsfeld füllt, zerstört wird. Fig. 8 Taf. III ist eine Abbildung dieser schönen Erscheinung. Dasselbe findet statt, wenn statt des gleichseitigen Dreiecks die Oeffnung aus dem Zwischenraum zweier concentrischer und ähnlich liegender gleichseitiger Dreiecke besteht.

Da ein Dreieck nur drei Seiten und drei Winkel besitzt, so scheint es sonderbar, dafs durch dasselbe ein sechsstrahliger Stern hervorgebracht wird. Nimmt man an, dafs drei Strahlen durch die Winkel und drei durch die Seiten entstehen, so steht zu erwarten, dafs in den abwechselnden Strahlen ein merklicher Unterschied vorhanden sey, der ihren verschiedenen Ursprung andeute. Ist das Fernrohr genau in den Brennpunkt gestellt, so sind alle Strahlen völlig gleich, zieht man es aber aus dem Brennpunkt, so wird die Verschiedenheit ihres Ursprungs sichtbar. Fig. 9 Taf. III zeigt die dann auftretende Erscheinung; die Zweige bestehen abwechselnd aus

einer Reihe nach der Länge laufender Fransen, die andern aber aus kleinen Bogen, welche in den Scheiteln von Hyperbeln liegen und die Strahlen senkrecht durchkreuzen. Bringt man das Fernrohr besser in den Brennpunkt, so nähern sich die Hyperbeln ihren Asymptoten, bis sie zuletzt von diesen nicht mehr zu unterscheiden sind. Auf diese Weise entstehen drei der Strahlen aus zusammenhangenden Lichtlinien, die drei dazwischenliegenden aber aus einer Unzahl getrennter, unendlich nahe an einander liegender Punkte. Der analytische Ausdruck für die Intensität des Lichts in einem der discontinuirlichen Strahlen würde eine Function von sehr sonderbarer Natur und schwieriger Behandlung erfordern.

Das eben beschriebene Phänomen liefert für gewisse Fälle ein sehr vollkommenes Positions-Mikrometer zum astronomischen Gebrauche dar. Wird das Diaphragma gedreht, drehen sich die Strahlen mit; und wenn ein heller Stern (z. B. α im Adler) nahe bei sich einen kleineren stehen hat, so kann das Diaphragma so gedreht werden, daſs einer der Strahlen durch den kleineren Stern geht, welcher nun wie eine Perle an einem Faden hängt und mit Muſse beobachtet werden kann. Kann dann die Lage des Diaphragma's an einer gehörig eingerichteten Theilung abgelesen werden, so ist dadurch die relative Lage der beiden Sterne bekannt. Wir haben uns durch Versuche von der Ausführbarkeit dieses Verfahrens überzeugt, das durch gehörige Einrichtung in Fällen, die anfangs sehr schwierig scheinen, mit Nutzen angewendet werden kann.

Gebraucht man drei kreisrunde Oeffnungen, deren Mittelpunkte in den Winkelpunkten eines gleichseitigen Dreiecks liegen; so besteht das Bild aus einer hellen centralen, Scheibe, die von sechs matteren Scheiben berührt und von einem System sehr schwacher halonenartiger Ringe umgeben wird (Fig. 10 Taf. III). Werden dage-

gen drei gleiche, ringförmige Oeffnungen auf die erwähnte Art geordnet, und steht das Fernrohr genau im Brennpunkt, so ist die Erscheinung genau so, wie wenn zwei der Oeffnungen verschlossen sind, also wie vorhin bei Anwendung eines einzigen ringförmigen Ausschnitts. Zieht man aber das Fernrohr etwas aus dem Brennpunkt, so stellt sich ein Unterschied ein. Die Erscheinung ist dann, wie es Fig. 11 Taf. III zeigt; jede der Oeffnungen erzeugt ihre eigene Scheibe und eigenes Ringsystem, und aus den Durchschnitten dieser drei Systeme entstehen die dort abgebildeten Fransen. Letztere verschwinden, so wie das Fernrohr besser in den Brennpunkt gestellt wird, und die Erscheinung hat dann die in Fig. 12 abgebildete Gestalt; die Mittelpunkte rücken gegenseitig immer näher und die Ringe verlaufen in einander, bis der Punkt des vollständigen Zusammenfallens erreicht ist.

Eine Oeffnung in Gestalt des Zwischenraums zweier concentrischer Quadrate bringt keinen acht-, sondern einen vierstrahligen Stern hervor. Die Strahlen bestehen jedoch nicht wie bei der dreiseitigen Oeffnung aus ununterbrochenen, von der Mitte aus immer dünner werdenden Linien, sondern deutlich und abwechselnd aus dunkeln und hellen Stücken, wie es in Fig. 13 abgebildet ist. Die der kreisrunden Scheibe zunächst liegenden Stücke bestehen aus Streifen, die auf der Richtung der Strahlen senkrecht liegen und prismatische Farben zeigen; und ohne Zweifel sind auch weiterhin auf den Strahlen, welche sich sehr weit erstrecken, ähnliche Querstreifen vorhanden.

Eine Oeffnung, bestehend aus funfzig Quadraten von einem halben Zoll in Seite und regelmäſsig so geordnet, daſs sie nach den beiden rechtwinkligen Richtungen Räume von gleicher Breite wie ihre Seiten zwischen sich lassen, brachte ein Bild hervor, ganz verschieden von dem, welches **Fraunhofer** bei der Kreuzung zweier

sehr engen Gitter entstehen sah, wiewohl die Vertheilung und die Gestalt der Oeffnungen in beiden Fällen gleich war. Es bestand, wie es in Fig. 14 Taf. III abgebildet ist, aus einer weifsen, runden, centralen Scheibe, umgeben von acht lebhaften Spectris, die in den Umkreis eines Quadrats liegen, aufserhalb dessen noch zwei dreifache Reihen sehr schwacher Spectra ein Kreuz bilden und sich bis in sehr grofse Entfernung erstrecken.

Besteht die Oeffnung aus vielen gleichseitigen Dreiecken in der regelmäfsigen Anordnung, welche Fig. 15 Taf. III zeigt, so erblickt man die in Fig. 16 abgebildete sehr schöne Erscheinung, nämlich einen sechsseitigen Stern, zusammengesetzt aus rundlichen Scheiben, von denen jede mit einem Ring umgeben ist. Die Scheibe in der Mitte ist farblos und hell; die übrigen sind farbig und in Spectra verlängert, desto stärker, je weiter sie vom Mittelpunkte liegen. Diefs sind nur einige wenige der sonderbaren und schönen Erscheinungen, welche von Fernröhren durch die Gestalt ihrer Oeffnungen hervorgebracht werden; sie bieten der fernern Untersuchung ein weites Feld dar, und sind eben so interessant für den Künstler wie für den Naturforscher.

Zusatz. Vorstehende Beobachtungen des Hrn. Herschel erinnern zu sehr an einige verwandte, welche Hr. Arago in den *Annal. de chim. et de phys. T. XXVI p.* 435 bekannt gemacht hat, als das ich umhin könnte, sie bei dieser Gelegenheit ebenfalls mitzutheilen.

Wenn man, sagt dieser Physiker, eine kreisrunde Oeffnung von gewissem Durchmesser, z. B. von einem Zoll, vor das Objectiv eines astronomischen Fernrohrs stellt, so erscheinen die Bilder der Sterne im Brennpunkt wohl begränzt, und mit einer Reihe sehr zarter, dicht zusammenliegender Lichtringe umgeben. Der Glanz

der

der Ringe schwankt unaufhörlich an verschiedenen Stellen des Umfangs, und oft sind einige Punkte gänzlich verschwunden.

Wenn man nun das Ocular ein wenig einschiebt, so sieht man das Bild des Sternes gröfser werden, und bald darauf entsteht in der Mitte ein schwarzer, runder, scharf begränzter Fleck, ein wahres dunkles Loch. Der Abstand vom Brennpunkt, bei dem man diesen Fleck erblickt, ist verschieden nach der Oeffnung des Diaphragma.

Eine weitere Einschiebung des Oculars bewirkt zunächst eine Vergröfserung des dunkeln Flecks, und dann die Entstehung einer kleinen Lichtscheibe, welche die Mitte einnimmt. Vom Mittelpunkt nach dem Umfang gerechnet, besteht alsdann der Stern aus einer Lichtscheibe, einem breiten dunkeln Ring, einem breiten hellen Ring u. s. w. Bei einer dritten, dem Objectiv noch mehr genäherten Lage des Oculars, ist die Mitte des Bildes wiederum dunkel, und auf einen breiten hellen Ring, der sie umgiebt, folgt erst ein dunkler, dann ein heller Ring u. s. w.

Allgemein bekannt war es, dafs man durch eine Verschiebung des Oculars im Fernrohre dem verworrenen Bilde eines Sternes immer gröfsere Dimensionen geben kann; allein ich weifs nicht, ob man schon bemerkt hat, dafs bei dieser Verschiebung die Mitte des Bildes eine kreisrunde und wohl begränzte, abwechselnd helle und dunkele Scheibe darbietet.

Diese Erscheinung steht nicht nur mit dem Funkeln der Sterne in Beziehung, sondern kann selbst ein Mittel zur Messung derselben abgeben.

Gesetzt das Ocular eines Fernrohrs befinde sich in einer der Lagen, wo die noch ganz dunkle Mitte des Bildes eines Sterns nahe daran ist, hell zu werden. Wenn der Stern nicht funkelt, wird die Gestalt seines Bildes constant bleiben; funkelt aber der Stern ein wenig, so

erscheint mitten im schwarzen Fleck von Zeit zu Zeit ein kleiner Lichtpunkt, gleich als wenn man in diesem Augenblick das Ocular ein wenig weiter eingeschoben hätte. Ist das Funkeln anhaltend, so dauert diese Erscheinung unaufhörlich fort.

Alle diese Umstände ergeben sich sehr einfach aus der von Hrn. Arago gegebenen Erklärung von dem Funkeln, vermöge welcher diese Erscheinung eine Wirkung der Interferenz der Strahlen ist; denn man braucht nur in den Schichten der Atmosphäre, welche der Strahl auf seinem Wege zum Auge durchläuft, äufserst geringe Unterschiede in der Dichte oder der Temperatur anzunehmen.

Es war hier nur von der Einschiebung des Oculars die Rede; zieht man dasselbe aus, entfernt man dasselbe vom Objectiv, so nimmt man zwar ähnliche Erscheinungen wahr, allein sie sind weniger scharf, und, weil zugleich Färbungen auftreten, weniger einfach.

P.

V. *Eine Bemerkung über Gase und Dämpfe; von H. W. Dove;*

Vergleicht man die Versuche von Davy und Faraday über die Compression der Gase zu Flüssigkeiten mit denen von Dulong und Arago über die Elasticität der Wasserdämpfe, so erhält man, wenn mit e die Elasticität der Dämpfe, welche bei der Temperatur t C. über der Flüssigkeit stehen, oder anders gesagt, mit t der Kochpunkt derselben unter dem Druck e bezeichnet wird, folgende Resultate:

	e		t			e		t	
Stickstoffoxydul	50 Atm.	bei	+ 7°,2		Wasser	50	Atm. bei	265°,9	C.
	44 -	-	— 0			44	- -	258 ,2	
Unterschied	6 Atm.	bei	7°,2	Wärmeunt.		6	Atm. bei	7°,7	C. Wärmeunt.
Kohlensäure	36 Atm.	bei	0°		Wasser	36	Atm. bei	216°,4	C.
	20 -	-	—11 ,1			20	- -	214 ,7	
Unterschied	16 Atm.	bei	11°,1	Wärmeunt.		16	Atm. bei	11°,7	C. Wärmeunt.
Chlorwasserstoffsäure	25 Atm.	bei	— 3°,9		Wasser	25	Atm. bei	226°,3	C.
	20 -	-	—16 ,1			20	- -	214 ,7	
Unterschied	5 Atm.	bei	12°,2	Wärmeunt.		5	Atm. bei	11ᵘ,6	C. Wärmeunt.
Ammoniak	6,5 Atm.	bei	+10		Wasser	6,5	Atm. bei	163°,48	C.
	5 -	-	0			5	- -	153 ,08	
Unterschied	1,5 Atm.	bei	10°	Wärmeunt.		1,5	Atm. bei	10°,4	C. Wärmeunt.

Aus dieser Vergleichung könnte man schliefsen, dafs bei jenen Luftarten und bei Wasserdämpfen, wenn man von derselben Elasticität ausgeht, gleiche Temperaturunterschiede die Elasticität um gleich viel verändern, eine merkwürdige Uebereinstimmung mit Dämpfen, da für viele derselben, nach Dalton, die Elasticität in gleicher Entfernung von dem Kochpunkte ihrer respectiven Flüssigkeiten gleich ist. Berechnet man nun nach jener Voraussetzung die Temperaturen, bei welchen jene Luftarten unter dem gewöhnlichen atmosphärischen Druck flüssig werden würden, so findet man:

Stickstoffoxydul	—158° C.
Kohlensäure	—146 -
Chlorwasserstoffsäure	—130 -
Ammoniak	— 53 -

Den Kochpunkt des Ammoniak giebt Guyton Morveau —48°.

Für schweflige Säure haben wir zwei Bestimmungen, für verschiedene Temperatur, für die höhere von Oersted und Swendson:

Schwefl. Säure	3,2689 Atm. b.	+21,25	Wasser	3,2689 Atm. b.	138,1
	2 - -	7,2		2 - -	121,4
		14,05			16,7

ein Unterschied, der nicht bedeutend ist, da zwischen 2 und 3 Atm. der Temperaturunterschied 14° beträgt.

Nach Faraday's Bestimmung berechnet, fiele der Kochpunkt:

bei 1 Atm. Druck auf	—14,2
nach Oersted - - - - -	—16,8
man hat ihn beobachtet bei	—10

In Beziehung auf den Vortheil der Anwendung jener Flüssigkeiten in Dampfmaschinen würde folgende Tabelle Vergleichungspunkte geben, in welcher für die ersten vier die Elasticität in Atmosphären ausgedrückt nach der Formel von Dulong und Arago, für schweflige Säure

nach der Formel von Tredgold, für Wasser nach den Versuchen von Dalton berechnet ist.

	Stickstoffoxydul.	Kohlens.	Chlorw. s.	Ammon.	Schwefl. Säure.	Wasser
+ 0° C.	44	36	26,87	5	1,6	0,007
5	47,83	39,21	29,45	5,68	1,87	0,009
10	51,89	42,70	32,23	6,50	2,18	0,012
15	56 26	46,41	35,21	7,27	2,53	0,017
20	60,9	50,41	38,41	8,19	2,92	0,026

So wie aber nach Despretz's Versuchen bei einigen Dämpfen sich sehr bedeutende Abweichungen von dem Dalton'schen Gesetze zeigen, eben so scheint auf manche Luftarten jene Analogie keine Anwendung zu finden. Wir finden nämlich:

Schwefelwasserst.	17 Atm. b.	+10°	Wasser	17 Atm. b.	206°,57
	14 - -	—16,1		14 - -	197,19
Untersch.	3 Atm. b.	26°,1 Wärmeunt.	Untsch.	3 Atm. b.	9°,38 Wärmeunt.

und selbst bei der Chlorwasserstoffsäure bringt eine Temperaturerhöhung von 14°,4 die Elasticität von 25 Atm. auf 40, wozu bei dem Wasserdampf eine Temperaturerhöhung von 26° nothwendig gewesen wäre. Es möchte daher mifslich seyn, jene Vergleichung auf Gasarten auszudehnen, für welche wir nur für eine Temperatur eine Elasticitätsbestimmung haben, jedenfalls versprechen directe Compressionsversuche für verschiedene Temperaturen derselben Luftart theoretisch und practisch wichtige Resultate.

VI. *Zusätze zu der Abhandlung: Ueber die Bergketten und Vulcane von Inner-Asien; von Alexander von Humboldt.*

(Diese Zusätze finden sich im ersten Theil der: *Fragmens de Géologie et de Climatologie asiatiques* als Anhang zu der interessanten Abhandlung, welche der Hr. Verfasser bereits im Bd. XVIII dieser Annalen dem deutschen Publicum überliefert, und hier, mit einigen geographischen und philologischen Bemerkungen des Hrn. Klaproth versehen, französisch wieder gegeben hat. Derselbe Band des genannten Werks enthält auch die von Hrn. Klaproth aus chinesischen und anderen Schriftstellern gezogenen Nachrichten über die Vulcane von Japan und die Gasquellen in China, welche wir, aus anderen Quellen entlehnt, im Bd. XXI S. 331 und im Bd. XVIII S. 603 mitgetheilt haben. *P.*)

Lebhaft interessirt, die verschiedenen Erzählungen der Landeseinwohner über Alles, was ich nicht mit eigenen Augen sehen konnte, zu vergleichen, habe ich meinen Freund, Hrn. Simonoff, Professor der Astronomie in Kasan und Astronom auf der Reise des Kapitains Billinghausen zum Südpol, gebeten, einige Nachrichten über das vulcanische Gebiet von *Bischbalik*, zwischen der Kette des *Thian-schan* und dem oberen Irtysch, bei dem gelehrten Professor der persischen Literatur, Hrn. Kazim-Beg, einzuziehen. Diese Nachrichten bestätigen zwar nicht das Daseyn eines feuerspeienden Berges in dem See *Alagul*, wie es in dem tartarischen Itinerarium, das ich mir in Orenburg verschaffte, angegeben ist; allein sie lehren bei dem See eine heiſse Quelle kennen und eine Höhle, aus der, zu groſser Furcht der Karavanen, ein heftiger Wind hervordringt. Solche Widersprüche finden sich, wie ich in der Kirgisensteppe und an der Gränze der chinesischen Dxungarei erfahren habe, in den Berichten tartarischer Reisenden leider sehr häufig. Das Folgende ist eine wörtliche Uebersetzung der Note des

Hrn. Kerin-Eng, welche Kaiser, in der englischen Sprache sehr bewandert, Forster (ein Sohn des grossen Ebelt von Ule), während seines Aufenthaltes unter den Mitgliedern der sibirischen Bibelgesellschaft zu Astrachan, englisch niederschrieb.

II) Beschreibung der Seen Ala gul und der Weisse Cylkeh.

Ein tartarischer Mollah, Seyfullin Kuzi mit Namen und etwa 50 Jahre alt, der seit mehreren Jahren in Konstantinopel wohnt, hat mehrere Reisen in diese Gegenden gemacht. Er ist in Ufa am Flusse Bj gewesen, und kennt die Seen Ala gul und Ala tau gul sehr gut. Er hat mir die folgende Nachricht mitgetheilt. Nachdem die Karawanen durch die Stadt Tschugutschak gegangen, nehmen sie ihren Weg nach dem Ala gul oder bunten See, so genannt von den in ihm enthaltenen einzeln grossen Felsen, die verschiedene Farben besitzen. Dieser See bleibt zur Linken des Weges liegen. Auf der andern Seite, im Westen des Sees, ist ein zweiter See, Ala tau gul. In diesem sieht man einen andern Berg, der weiss wie Schnee ist und weit grösser als die Felsen des Ala gul (der Name Ala tau gul ist zusammengesetzt entweder aus ala und tag gul, d. h. nicht bunt, oder aus den drei Worten Ala tau gul, was so viel heisst, als ein See, der einen bunten Berg enthält; denn der Mollah sagt, dass der in dem See liegende Berg im Sonnenschein ein schönes und verschiedenfarbiges Ansehen hat). Auf meine Frage, ob etwa darauf hindeute, dass dieser Berg ehemals ein Vulkan gewesen sey *) und ob die Tartaren und Kalmücken, wenn sie neben diesen Seen vorbeireisten, diesem Bergen ein Opfer brächten, sagte er mir, dass er niemals so etwas in Bezug auf die Seen und die darin liegenden Berge habe erklären hören; allein, soviel er wisse: Wenn man den Ala gul

*) Nicht dieser Berg, sondern ein Fels im Ala gul ist für vulkanisch ausgegeben. Kl.

(der auf der Karte genau im Süden des *Ala tau gul* liegt) hinter sich hat, gelangt man zu zwei Bergen, dem *Jug tau* (*Kuk tau* der Karten, oder blauen Berg) rechts, und dem *Barlyk* links, zwischen denen der Weg der Karavanen hindurchführt. Einige Werste hinter diesen Bergen, und auf dem Wege, befindet sich eine grofse unterirdische Höhle; sie führt den Namen Uybeh. Zuweilen, besonders im Winter, bewirkt sie heftige Stürme, die oft zwei Tage anhalten. Der Eintritt in diese Höhle gleicht einer ungeheuren Gruft, und Keiner wagt hineinzugehen, selbst nicht hineinzuschauen. Jhre Tiefe ist Jedem, aufser Allah, unbekannt, Ueberdiefs beschreibt er diese Höhle so fürchterlich und in so ungewöhnlichen Ausdrücken, dafs ich vermuthe, sie gleiche fast dem *Elden hole* in Derbyshire. Der einzige Unterschied mit letzterer ist der, dafs diese an der Seite eines Berges liegt, und weder Stürme noch Winde erzeugt. Der Mollah versichert, der Sturm, der aus der Uybeh hervordringe, sey zuweilen so stark, dafs er Alles auf seinem Wege mit fortreifse und in den benachbarten See schleudere. Es ist demnach wahrscheinlich, dafs ehedem, vor mehreren Jahrhunderten, Feuer und Flammen aus der Höhle Uybeh hervorschossen, und dafs sie aus diesem oder einem ähnlichen Grunde den Namen eines Vulcans erhielt. Ich mufs noch erwähnen, dafs der Mollah hatte sagen hören, der Wind aus der Uybeh sey im Winter zuweilen *warm*, und so gefährlich, dafs die Karavanen, welche in der Nachbarschaft dieser Höhle anlangen, oft eine ganze Woche lang liegen bleiben, wenn sie die Winde in Thätigkeit glauben, und ihren Weg nicht eher antreten, bevor diese aufgehört haben.«

»Was die Opfer betrifft, so erzählt der Mollah, dafs sich bei dem Berge *Jug tau* oder *Kuk tau* zwei Quellen befinden, eine kalte und eine heifse. Es ist diese letztere, welcher die Kirgisen und Kalmücken Opfer bringen, weil sie glauben, ihr Wasser heile fast alle Krank-

heiten. Es ist demnach sehr wahrscheinlich, dafs das, was der Hr. von Humboldt zu Orenburg von Tartaren über Opfer, die dem Berge im See *Ala gul* gebracht würden, hat erzählen hören, einerlei ist mit der Nachricht des Mollah Seyfullah über die erwähnten Quellen.«

»Nachdem ich von ihm die obigen Angaben erhalten, machte ich die Bekanntschaft eines andern Mollah, der zu *Kaschkar* geboren ist, und mit einer Karavane die Reise neben dem *Ala gul* und den Bergen *Kuk tau* und *Barlyk* gemacht hat. Er bestätigt Alles, was eben über den *Ala gul* und der *Uybeh* gesagt worden ist.«

»Schreiber dieses unterzieht sich gern neuen Untersuchungen über alle Punkte, deren Aufklärung von Wichtigkeit erscheinen sollte. Sobald er wieder einige Nachrichten eingesammelt hat, wird er sie mit grofsem Vergnügen Hrn. Baron von Humboldt übersenden, dem er die Ehre hat zu seyn u. s. w.«

Alexander Kazim-Beg.

2) Ueber die Salsen und die Feuer von Baku.

(Aus einem Briefe des Hrn. Lenz in St. Petersburg an Hrn. Baron A. von Humboldt.)

Die Feuer von Baku, welche man gewöhnlich die *grofsen Feuer* nennt, liegen 15 Werste ostnordöstlich von dieser Stadt, und heifsen bei den Eingebornen vorzugsweise *Ateseh-gah* oder die Feuerorte. Es ist gegenwärtig sehr schwer zu sagen, ob diese Feuer sich von selbst entzündet haben. Die Landeseinwohner und die feueranbetenden Hindus, etwa zwanzig an der Zahl, welche sich hier niedergelassen haben, behaupten, die Feuer brennen seit Anfang der Welt; allein, man weifs, dafs dieses Volk geneigt ist, Alles, was seit mehreren Menschenaltern besteht, als da seyend von aller Ewigkeit her zu betrachten. Der Ausbruch indefs, welcher sich am 27. Nov. 1827 nahe beim Dorfe *Jokmali*, 14 Werst

westlich von *Baku*, ereignete, gab sich zuerst durch eine Feuersäule kund, an einem Orte, wo man vorher keine Flamme sah. Diese Feuersäule behielt drei Stunden lang eine ungewöhnliche Höhe, dann sank sie bis auf drei Fufs herab, und brannte so 24 Stunden hindurch.

Diese Erscheinung könnte zu dem Glauben verleiten, die *grofsen Feuer* bei *Baku* hätten einen ähnlichen Ursprung; allein man mufs erwägen, dafs das Erscheinen jener Feuersäule zu *Jokmali* begleitet war mit einem Ausbruch von thonigem Schlamm, der den Boden in einem Kreise von 200 bis 150 Toisen Durchmesser mit einer zwei bis drei Fufs dicken Lage bedeckte. Ueberdiefs zeigt der Anblick dieses Orts, dafs früher hier schon ähnliche Ausbrüche stattgefunden haben. Der graue Thon von der letzten Eruption liegt auf einem Boden von gleicher Art, aber von weit gröfserer Ausdehnung, denn es ist eine mit braunem Thon bedeckte Ebene, auf der man keine Spur von Vegetation antrifft. Dieser Boden ist unwiderleglich vulcanischen Ursprungs, und der, ursprünglich graue, Thon ist nur an der Luft durch Oxydation des in ihm enthaltenen Eisens braun geworden.

Zu *Atesch-gah* sieht man diese Thonschicht nicht. Das Hauptfeuer, welches in dem Hofe der Wohnung der Hindus brennt, strömt aus Muschelkalk hervor, dessen Fallen 25° gegen Südost beträgt. Das Feuer dringt aus Spalten hervor, deren Wände dadurch blau geworden sind. Gegenwärtig haben die Hindus die meisten dieser Spalten zugemauert, um das Gas in vier Hauptmündungen zu vereinigen. Wenn folglich das Gas, welches an diesem Orte brennt, seine Entstehung einer vulcanischen Feuersäule verdankt, so war diese Eruption nicht mit einem Schlamm-Auswurf begleitet.

Aufser den *grofsen Feuern* giebt es auch kleine, westlich von Baku, beinah 5 Werste von der Salse bei *Jokmali*; allein diese werden in jedem Jahre durch Regen oder Schnee ausgelöscht, wenigstens haben wir sie

im Monat März in diesem Zustand angetroffen. Das Gas tritt aus einigen trocknen Höhlungen des thonigen Bodens mit Geräusch hervor, oder auch, es entwickelt sich in Blasen aus dem Schneewasser, mit dem die tieferen Theile dieser Heerde angefüllt sind. Ehe ich das Gas anzündete, steckte ich in eine der gröſseren trocknen Höhlungen ein Thermometer, ohne daſs es die Wände berührte; es zeigte für die Temperatur des Gases 12° C. Die Flamme, welche, nachdem das Gas angezündet worden, aus dem Loche aufstieg, hielt 2 Fuſs in Höhe und einen im Durchmesser. Ich halte diese Bestimmung der Temperatur des Gases für sehr sicher; denn wiewohl ich auch versuchte, die des Gases der *groſsen Feuer* auszumitteln, so kann sie doch nicht genau seyn, weil die vielen Flammen nothwendig den Boden, und folglich auch das aus demselben hervorströmende Gas sehr erhitzen müssen. In der Wohnung eines der Hindus zog ich die zwei Fuſs lange Röhre, aus welcher das Gas hervorbrannte, aus dem Boden und steckte darauf das Thermometer in das Loch einen halben Fuſs tief; es zeigte 28°,8 C. In der Nähe der *groſsen Feuer*, etwa eine halbe Werst vom Hauptheerde, fand ich zwei andere Gasquellen, beide sehr schwach; die Temperatur der einen war 12°, die der anderen 13°,1 C. Der fast gänzliche Mangel an Quellen in dem Gebiete von Baku legt der Bestimmung der Bodentemperatur dieser Gegend ein mächtiges Hinderniſs in den Weg. Die man antrifft haben fast kein Wasser. Eine findet sich in der Nähe der Stadt, sechs Fuſs vom Ufer des Meeres; ihre Temperatur ist ebenfalls beinahe 12°,0 C., was ziemlich mit den Quellen von *Derbend* und *Welikend* übereinstimmt.

Eine wirkliche Salse befindet sich südsüdwestlich von Baku, 15 Werst vom Meere. Wahrscheinlich ist es dieselbe, welche Hanway (*Voyage, Vol I p.* 284) als einen Vulcan bezeichnet. Sie liegt auf einem Berge von runder Gestalt, der ganz mit vulcanischem Schlamm

und einer grofsen Anzahl kleiner Thonkegel von etwa 20 Fufs Höhe bedeckt ist. Der Vulcan nimmt den höchsten Theil des Berges ein, und ist gegenwärtig wenig thätig; er unterscheidet sich von der übrigen mit braunem Thon bedeckten Fläche durch seine graue Farbe, welche vollkommen der von der letzten Eruption zu *Jokmali* ähnlich ist. Wir trafen den Kegel nicht mehr in seiner Ganzheit an, denn drei Jahre zuvor stürzten sein Gipfel und sein westlicher Theil, wahrscheinlich in Folge einer zu starken Wirkung des Gases, ein, vielleicht im Moment des Ausbruches zu Jokmali, das nur 10 Werst davon entfernt liegt. Der flüssige Schlamm fliefst an dieser Seite aus, und hat hier eine Ebene gebildet, die, durch das Eintrocknen der Masse, voller Risse geworden, eine Länge von etwa 1000 Fufs auf eine Breite von etwa 200 Fufs besitzt. Die Höhe des Kegels mufs gegen 200 Fufs betragen haben. Was jetzt noch steht, hat eine Höhe von 100 Fufs über der Fläche, und von 900 Fufs über dem Meer. Einer meiner Begleiter hatte den Kegel noch unverletzt gesehen; er besafs damals oben eine Oeffnung nicht gröfser als eine Faust, und gefüllt mit flüssigem Schlamm, welcher, durch aufsteigende Gasblasen bis zu einer Höhe von zwei Fufs emporgeworfen, nach dem Niederfallen zur Vergröfserung des Kegels beitrug. Nachdem dieser eingestürzt ist, hat sich in seiner Mitte eine Vertiefung gebildet, aus der an zwei Stellen das Gas hervordringt. Wir haben dasselbe angezündet, und es brannte noch als wir den Berg verliefsen. Man erblickt in dem Schlamme dieser Salse viele Felstheilchen, welche alle scheinen einer mehr oder weniger grofsen Hitze ausgesetzt gewesen zu seyn. Eine Werst vom Gipfel des Berges findet man sogar eine wahre Schlacke in Stükken von zwei bis drei Fufs Durchmesser, die durch den Vulcan scheinen dahin geschleudert zu seyn. Eine grofse Menge kleiner Stücke habe ich ganz in der Nähe eines der kleinen Kegel des Berges gefunden.

Die Salsen, welche *flüssigen Schlamm* auswerfen, liegen hauptsächlich auf einem Hügel, beim Dorfe *Balkhany*, 12 Werst westlich von *Atesch-gah*, im Gebiete der schwarzen Naphtha, von denen es 82 Brunnen giebt. Diese Salsen bestehen aus Gruben, die mit Schlamm und schwarzem Bergöl gefüllt sind, und von denen die gröſsten zwei bis sechs Fuſs im Durchmesser haben. Das Gas entwickelt sich in mehr oder weniger langen Zwischenzeiten in Blasen; es brennt, wenn es angezündet wird, mit ganz derselben Flamme wie die *groſsen Feuer*. Dieſs ist der Ort, den Kämpfer das *Fegfeuer* nennt. An beiden Seiten des Hügels tritt das Gas immerwährend unter Zischen aus dem Boden.

Die *Schlammfelder* sind vulcanische Erscheinungen, ganz denen bei dem Ausbruch zu Jokmali im J. 1827 ähnlich. Das Gas strömt hier aus kleinen, zwei Fuſs hohen Thonkegeln, dessen Gipfel eine mit Schlamm gefüllte Oeffnung einnimmt. Solcher Kegel sieht man eine groſse Anzahl neben einander stehen.

Ein Ausbruch gleicher Art mit dem von *Jokmali* findet sich auf der Insel *Pogorelaïa Plita* (dem gebrannten Fels) an der Mündung des *Kur*. Mehrere Personen, die beide gesehen, haben mir ihre völlige Einerleiheit versichert.

Ein alter persischer Matrose erzählte mir Folgendes: »Vor sechszehn Jahren brach auf dieser Insel eine Flamme hervor, deren Hitze man schon in einer Entfernung von sechs Wersten fühlte (?); gegenwärtig ist aber dieses Feuer erlöscht. Die Insel ist mit flüssigem grauen Schlamm bedeckt, und aus diesem steigt ein Dampf empor, der ganz wie das Feuer von *Baku* riecht, und, wenn man ihn einathmet, Kopfweh verursacht. Dieser Schlamm enthält eine groſse Menge von Steinen, die den Glanz des Goldes besitzen. Man findet auch Salz auf dem Boden, aber es schmeckt bitter.«

Dieselben goldfarbenen Steine habe ich zu Jokmali

gefunden; sie bestehen aus Thonschiefer, mit einer schwachen Farbe von Marcasit. Bei Jokmali ist der thonige Boden gleichfalls an vielen Orten mit Natron bekleidet. Zwei Ursachen haben zur Hebung der Insel *Pogorelaïa Plita* über den Spiegel des Kaspischen Meeres beitragen können. Die eine ist die unzweifelhafte Senkung dieses Meeresspiegels, die von 1805 bis 1830 zehn Fuſs betragen hat; die andere aber die Eruption der Salse daselbst. Ich habe nicht mit Gewiſsheit erfahren können, ob die Insel vor diesem Ereigniſs da war. Die Nachrichten, welche ich hierüber einzog, sind widersprechend.

Niemand in der Nachbarschaft von *Baku* hat mir über die freiwillige Entzündung der Naphtha Auskunft geben können; allein es leidet keinen Zweifel, daſs mehrere Naphthabrunnen dem Gase einen freien Ausgang verstatten, denn man hört es bei einigen derselben deutlich mit Geräusch entweichen.

VII. *Ueber die Zusammensetzung des Naphthalins; vom Dr. Oppermann.*

Die neuen Ansichten, welche Dr. Reichenbach auf eine so gründliche Weise über die Bildung des Naphthalins entwickelt hat *), rechtfertigen gewiſs eine neue

*) Im Schweigger'schen Journale: Bd. LXI S. 175. — Die wesentlichen Resultate dieser Untersuchung des Hrn. Dr. Reichenbach sind folgende: Weder in der Steinkohle noch in dem Steinkohlentheer, sobald die trockne Destillation der Kohle bei völligem Ausschluſs der Luft geschehen ist, findet sich Naphthalin. Dagegen bildet sich diese Substanz bei der Verruſsung (der trocknen Destillation, oder Verkohlung, unter geringem Zutritt der Luft und dadurch bewirkter unvollständiger Verbrennung, in Folge welcher den aufsteigenden Producten Wasserstoff entzogen wird), des Steinkohlentheers, und nicht bloſs dieses, sondern auch des Pflanzen- und Thiertheers; ja selbst Alkohol, Aether und Steinöl scheinen, nach den Krystallen zu urtheilen, die Saussure beim Durchleiten der Dämpfe dieser Substanzen durch glühende Porcellanröhren erhielt (Gehlen's Altes Journ. Bd. IV S. 69 und 79), auf diese Weise, wie höchst wahrschein-

Analyse dieses Körpers, um so mehr, da die Arbeiten von Faraday, Thomson und Ure über seine Zusammensetzung in grofsem Widerspruch mit einander stehen. Das Naphthalin, welches den folgenden Versuchen unterworfen worden ist, verdanke ich der Gefälligkeit des Hrn. Prof. Geiger, und die Analyse selbst ist unter den Augen und in dem Laboratorium des Hrn. Prof. Liebig ausgeführt worden.

Nach den Versuchen von Faraday ist das Naphthalin aus:

93,75 Kohlenstoff
6,25 Wasserstoff

zusammengesetzt, was 5 At. Kohlenstoff auf 4 At. Wasserstoff entspricht.

Die Analyse von Ure weicht wesentlich von dieser ab; nach ihr enthielte diese Substanz:

91,6 Kohlenstoff
7,7 Wasserstoff
0,7 Sauerstoff.

Die Zusamensetzung, welche Thomson angiebt, stimmt mit der von Ure nahe überein: nach ihm enthält dieser Körper: 90 Kohlenstoff und 10 Wasserstoff. Das Naphthalin, welches zu meinen Versuchen angewandt wurde, war sehr rein und in glänzenden, durchsichtigen Blättchen angeschossen, die einige Aehnlichkeit mit chlorsaurem Kali hatten; es besafs einen starken und dem gewöhnlichen Kienrufs ganz ähnlichen Geruch.

0,314 Grm. Naphthalin lieferten mit Kupferoxyd und mit Anwendung des Apparates von Hrn. Prof. Liebig verbrannt 1,062 Grm. Kohlensäure und 0,192 Grm. Wasser. Diefs giebt für 100 Theile:

93,484 Kohlenstoff
6,516 Wasserstoff.

Der Wasserstoff, aus dem erhaltenen Wasser berechnet, übertrifft um etwas an Gewicht diejenige Quantität, welche in den Zahlen angeführt ist. Diefs kann man nur dem Kupferoxyd zuschreiben, denn ein Mittel, es (das Wasser) daraus zu entfernen, z. B. die Luft-

lich alle kohlenwasserstoffhaltigen Körper, Naphthalin zu liefern. Durch den Verrufsungsprocefs bekommt auch der Kienrufs einen Gehalt von Naphthalin, der sich durch Erhitzung von ihm absublimiren läfst. Das beigemengte Naphthalin ist es, welches dem Kienrufs seinen eigenthümlichen Geruch verleiht.

pumpe, liefs sich der Flüchtigkeit des Naphthalin wegen nicht anwenden, obgleich diefs Resultat sich erst in den Tausendsteln von dem von Faraday entfernt, so war man nichts destoweniger gezwungen es zu verwerfen, weil man bemerkte, dafs sich in dem Chlorcalciumröhrchen eine geringe Menge von Naphthalinkrystallen angesetzt hatte, die der Verbrennung entgangen und mit dem kohlensauren Gas entwichen waren. Deshalb ist die erhaltene Quantität Kohlensäure zu klein gewesen.

Um beim Zusammenmengen dieser Substanz mit Kupferoxyd allen Verlust durch ihre Verflüchtigung zu vermeiden, brachte man bei den folgenden Analysen das Gemenge, sogleich nach seiner Bereitung, in die Verbrennungsröhre, verstopfte diese sorgfältig, brachte es durch Erhitzen zum Schmelzen, und liefs es die halbe Länge der Röhre auf dem Boden hinabfliefsen. Nach dem Erkalten der Röhre wurde sie mit frisch geglühtem und ebenfalls ganz erkaltetem Kupferoxyde gefüllt und die Verbrennung auf die gewöhnliche Art bewerkstelligt.

0,510 Grm. Naphthalin gaben in einem zweiten Versuch 1,741 Grm. Kohlensäure und 0,291 Grm. Wasser. Diefs giebt für 100 Theile:

94,3895 Kohlenstoff
5,6105 Wasserstoff.

Eine dritte Analyse von 0,311 Grm. Substanz lieferte 1,065 Grm. Kohlensäure und 0,170 Wasser. Dieses Resultat, welches ich als das gelungenste betrachte, giebt für 100 Theile:

94,6857 Kohlenstoff
5,3143 Wasserstoff.

Wenn man diese Zahlen in Atomen berechnet, und die neusten Bestimmungen von Berzelius dabei zum Grunde legt, so besteht das Naphthalin genau aus:

3 At. Kohlenstoff	229,311	94,84
2 At. Wasserstoff	12,479	5,16
	241,790	100,00.

ANNALEN
DER PHYSIK UND CHEMIE.

JAHRGANG 1831, ELFTES STÜCK.

I. *Chemische Untersuchung des Spinells, und der Minerale von analoger Zusammensetzung;*
von Hermann Abich;

Die Veranlassung zu der gegenwärtigen Untersuchung entsprang aus dem Wunsche, Gleichheit des Mischungsgesetzes bei einer Reihe von Körpern nachzuweisen, welche, mit gleicher Krystallform begabt und aus isomorphen Bestandtheilen zusammengesetzt, das Interesse des Chemikers und Mineralogen nicht anders als auf gleiche Weise in Anspruch nehmen mufs.

Die vorhandenen Analysen erschienen für diesen Zweck unbefriedigend, und die oft so bedeutende Verschiedenheit ihrer Resultate berechtigte um so mehr zum Zweifel an der Richtigkeit, als es noch bei keiner derselben versucht war, die die Sicherheit und Genauigkeit so leicht beeinträchtigenden Schwierigkeiten des Aufschliefsens durch eine bessere Methode vollkommen zu beseitigen. Von der Wichtigkeit dieses Umstandes überzeugt, richtete ich meine ganze Aufmerksamkeit also zunächst dahin, eine einfache Methode aufzufinden, die nach einmaliger Schmelzung eine vollkommene Aufschliefsung gewährte, da diefs bei Fossilien von solcher Härte, wie der

Spinell und der Chromeisenstein, ein Haupterfordernifs war. Zu dem Ende stellte ich die nachstehende Reihe vorläufiger Versuche an, und zwar mit Krystallen des blauen Spinells von Åker, welche durch verdünnte Salzsäure von anhängendem Kalk befreit, und mit Hülfe des weiterhin beschriebenen Stahlmörsers und wiederholten Schlemmens zum feinsten Pulver gebracht, auch von dem während des Reibens beigemengten Eisen durch Salzsäure befreit worden waren.

Erster Versuch. 0,727 Grm. dieses Steinpulvers und 0,661 Grm. reiner geglühter Kieselerde wurden mit 4,164 Grm. kohlensauren Kali's eine halbe Stunde lang im Windofen stark geglüht. Die nach dem Erkalten zusammengesinterte und grünliche Masse liefs, in Salzsäure gelöst, einen Rückstand, den kaustisches Kali bis auf 0,02 Grm. aufnahm, welche sich als unzerlegtes Fossil zu erkennen gaben.

Zweiter Versuch. 0,973 Grm. Steinpulver mit 0,942 Grammen Kieselerde und 7,916 Grm. kohlensauren Kali's gemengt, drei Viertelstunden lang geschmolzen und auf gleiche Weise behandelt, gaben einen Rückstand von 0,035 Grm.

Dritter Versuch. Eine Mischung von 0,611 Grm. Spinell und 0,514 Grm. Kieselerde wurde mit dem vierfachen Gewicht an kohlensaurem Kali in einem kleinen cylindrischen Schmelzofen, wie er in dem Handbuch des Hrn. Prof. Mitscherlich beschrieben ist*), eine Stunde lang einer, mit Coaks und starkem Gebläse erzeugten intensiven Hitze ausgesetzt. Das Gemenge erschien zur beinahe vollkommen homogenen Masse zusammengeschmolzen, und gab, nach der Behandlung mit Salzsäure, nur einen sehr geringen, in Kalilauge unlöslichen Rückstand.

Vierter Versuch. Ein auf gleiche Weise behandeltes Gemenge von 0,272 Grm. Steinpulver und 0,426 Kie-

*) Seite 194. Oder auch diese Annalen, Bd. XV S. 612.

selerde mit dreifacher Menge kohlensauren Kali's liefs ebenfalls nur einen unbedeutenden Rückstand ungelöst.

Fünfter Versuch. Ein inniges Gemenge von 0,133 Grammen Spinellpulver und 0,162 Grm. Kieselerde wurde jetzt für sich eine Stunde lang dem stärksten Feuer ausgesetzt. Nach dem Erkalten zeigte sich ein vollkommen geschmolzener abgerundeter Körper, der an keiner Stelle an dem Tiegel haftete, und 0,288 Grm. wog. Es hatte die Masse folglich durch das Schmelzen 0,96 Proc. verloren.

Dieser einem natürlichen Fossile sehr ähnliche Körper war von bedeutender Härte, unbestimmtem und derbem Bruche und grauer Farbe. Er wurde, selbst als feinstes Pulver, von keiner Säure angegriffen, und war nur durch Schmelzen mit kohlensaurem Kali aufzulösen. Die bedeutenderen Wirkungen der gesteigerten Hitze in den letzten Versuchen veranlafsten mich, in den folgenden einen Schmelzofen von gröfseren Dimensionen anzuwenden.

Sechster Versuch. Gleiche Theile Kieselerde und Spinellpulver wurden mit der dreifachen Menge an kohlensaurem Kali eine halbe Stunde hindurch geschmolzen. Die Masse mit Salzsäure digerirt, gab einen Rückstand, der in kaustischem Kali vollkommen lösbar war.

Siebenter Versuch. Mit Hülfe der so erzeugten intensivsten Hitze gelang es mir jetzt zum ersten Male, eine Quantität von 0,25 Grm. Steinpulver durch kohlensaures Kali vollkommen aufzuschliefsen. Nach der Auflösung der stark zusammengesinterten Masse in Salzsäure blieb ein krystallinisches Pulver zurück, welches erst in der Digestionswärme und durch Ueberschufs von Säure wieder verschwand.

Achter Versuch. Eine Quantität von 1,236 Grm. des Steinpulvers mit der dreifachen Menge kohlensauren Natrons geschmolzen, verhielt sich eben so.

Die zufällig im Laufe dieser Versuche gemachte Beob-

achtung, daſs Witherit in dem stärksten Feuer des angewandten Cylinderofens nicht nur vollkommen flüssig wurde, sondern auch den gröſsten Theil seiner Kohlensäure verlor, veranlaſste mich zu dem

Neunten Versuch. 0,526 Grm. des geschlämmten Steinpulvers wurden mit 6 Theilen künstlichen kohlensauren Baryts drei Viertelstunden hindurch ununterbrochen im Feuer gehalten. Das Resultat war sehr günstig, denn ich erhielt eine vollkommen geschmolzene Masse mit krystallinischer Oberfläche und einer Volumsveränderung von mehr als die Hälfte. — Durch leichtes Drücken aus dem Platintiegel entfernt, löste sie sich ohne bemerkbare Gasentwickelung langsam zur vollkommen klaren gelblichen Flüssigkeit, ohne den geringsten Rückstand zu lassen.

Zehnter Versuch. Mehrere Grammen gröblich gepülverter Krystalle wurden jetzt gleichfalls mit der sechsfachen Menge kohlensauren Baryts eine Stunde lang der stärksten Hitze ausgesetzt, worauf die geschmolzene Masse sich unter Zurücklassung der gröſseren Bruchstücke, die jedoch die Spuren der beginnenden Schmelzung an sich trugen, vollständig in Salzsäure auflöste.

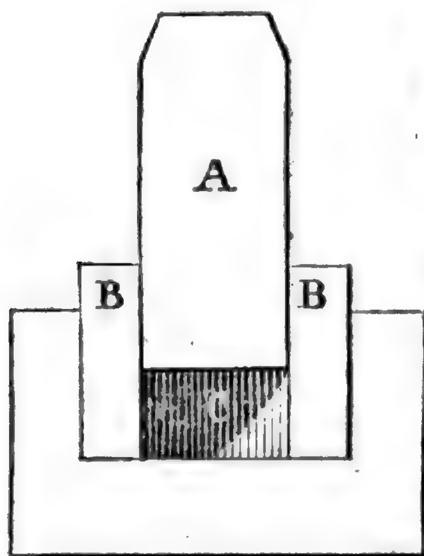
Die beiden letzten Versuche boten mir eine Methode dar, welche allen Anforderungen so vollkommen entsprach, daſs ich mit ihrer Hülfe die vorgesetzten Analysen zu unternehmen beschloſs.

Um zu häufige Wiederholung zu vermeiden, halte ich es für das Beste, hier ein für alle Mal den Gang zu bezeichnen, den ich bei allen nachfolgenden Analysen befolgt habe.

Die Krystalle wurden vermittelst eines stählernen Amboſs zertrümmert, nur vollkommen durchsichtige, und von jeder fremdartigen Beimengung freie, Bruchstücke zur Analyse ausgewählt, und diese in einem besonders

dazu eingerichteten Stahlmörser zum feinen Pulver gebracht. Durch die Erfahrung von dem Nutzen eines Instruments belehrt, welches so glücklich alle Gefahren und Schwierigkeiten des Zerkleinerungsgeschäfts, die von dem Gebrauch des Achatmörsers unzertrennlich sind, aufhebt, halte ich eine kurze Beschreibung desselben nicht für überflüssig.

Sämmtliche Theile des Mörsers sind aus dem feinsten englichen Stahl geschmiedet, auf das Feinste polirt und genau an einander gepafst.



Der Stempel *A* ist dergestalt in den Ring *B* gefügt, dafs er sich leicht auf und nieder bewegen läfst. Der etwas konische Ring steht in demselben Verhältnifs zum Mörser. Die zu zerkleinernden Stücke werden an den Ort *C* gelegt, und der Stempel durch den leichten Schlag eines hölzernen Hammers heruntergetrieben. Man hebt ihn alsdann ein wenig und wiederholt den Schlag. Durch Fortsetzung dieses Verfahrens, wobei es gut ist, bisweilen an die Seiten des Mörsers zu klopfen, erhält das zertrümmerte Mineral Gelegenheit sich über die ganze untere Fläche des Mörsers zu verbreiten, und während der auf- und niedersteigende Ring jedem Verlust vorbeugt, wird das Pulver allmälig zum höchsten Grade der Feinheit gebracht.

Das so erhaltene Pulver wird nun zur Reinigung von dem während der Operation mitgenommenen Eisen, welches jedoch im Durchschnitt niemals mehr als 0,5 bis 1 Procent betrug, mit verdünnter Salzsäure leicht digerirt. Zur Analyse dieses jetzt vollkommen gereinigten Steinpulvers bediente ich mich eines kohlensauren Baryts, der

auf folgende Weise bereitet worden war. Eine Lösung von reinem Chlorbarium wurde zur Trockne verdampft, alsdann gelöst, filtrirt und mit reinem kohlensauren Ammoniak gefällt.

Wenn ich jetzt, zur näheren Beschreibung des Schmelzprocesses übergehend, etwas ausführlich bei demselben verweile, so geschieht es in der Ueberzeugung, dafs das Gelingen der ganzen Analyse allein von der Sorgfalt abhängt, mit der man bei dem Aufschliefsen zu Werke geht, und mit dem Wunsche, dadurch zugleich einem Jeden, der denselben Weg einschlagen will, die Arbeit zu erleichtern.

Das Steinpulver wurde mit dem vierfachen Gewichte kohlensauren Baryts in einem Platintiegel von beinahe 2 Zoll Höhe wohl unter einander gemengt, und auf der Weingeistlampe so lange stark geglüht, bis die zusammengesinterte Masse anfing Spalten zu zeigen. Alsdann wurde der Tiegel wohl verschlossen und mit Platindraht umwickelt, in einem starken hessischen Tiegel, von etwa 4 Zoll Höhe, gestellt, und dieser mit einem genau schliefsenden Deckel versehen, in den beim *fünften Versuch* erwähnten Schmelzofen auf eine passende Unterlage, und zwar in solcher Höhe gebracht, dafs sein unterer Theil gerade in dem Brennpunkt des Ofens stand. Nachdem der Tiegel in dem schon vorher zu erhitzenden Ofen zum mäfsigen Glühen gekommen war, wurde er bis zum Dekkel mit Kohlen umgeben, und alsdann der Ofen bis zum Rande mit Coaks von passender Gröfse angefüllt. Von jetzt an wurde vermittelst des Blasebalgs ein starker Zug fortwährend unterhalten. Sobald nun die sich schnell verzehrenden Coaks bis zum Deckel des Tiegels heruntergebrannt waren, wurde der Ofen von Neuem gefüllt. Die nöthige Vorsicht, den hessischen Tiegel in einer Eisenschmelzhitze vor dem Zerschmelzen und den eingeschlossenen Platintiegel vor dem Verderben zu schützen, lehrte mich die Erfahrung bald kennen; und wenn ich

gleich in den ersten Versuchen einen Platintiegel einbüſste, so bediente ich mich später ein und desselben mehr als funfzehn Mal, ohne daſs er auch nur den allergeringsten Schaden erlitten hätte. Der Zeitpunkt, wann der hessische Tiegel weich zu werden anfängt, hängt natürlich von der Construction des Ofens, so wie von der Beschaffenheit der Feuerung ab, und muſs durch Beobachtung ausgemittelt werden.

Bei meiner Arbeit waren es vorzüglich drei Punkte, deren Beachtung mir jedesmal einen günstigen Erfolg sicherte. Einmal muſsten der hessische Tiegel nebst Dekkel genau an einander passen, zweitens allzu starkes Blasen vermieden, und drittens nicht länger als drei Viertelstunden das Schmelzen unterhalten werden.

Noch ehe die letzten Kohlen vollständig niedergebrannt waren, wurde, um das Anhängen der Schlacke und Unterlage zu vermeiden, der Tiegel herausgenommen und zur allmäligen Erkaltung in Sand gestellt.

Deckel und Tiegel waren alsdann so fest an einander geschmolzen, daſs sie ein vollkommen geschlossenes Gehäuse bildeten, welches, zertrümmert, den Platintiegel jedesmal ungestört und unversehrt enthielt.

War der Proceſs gut von Statten gegangen, so zeigte sich die Masse vollkommen geschmolzen, und von krystallinischer, mit glänzenden Schüppchen bedeckter Oberfläche. Leicht aus dem Tiegel entfernt, wurde sie in sehr verdünnte Salzsäure gebracht, worauf die Auflösung am erwärmten Orte allmälig und ganz ohne Gasentwicklung vor sich ging. Bisweilen fiel ein krystallinisches Pulver zu Boden, welches jedoch einem Zusatz von Säure und stärkerer Erwärmung vollständig wich.

a) Nachdem die Auflösung abgedampft, der Rückstand wieder gelöst und die Kieselerde abgeschieden war, wurde die klare, stark erwärmte Flüssigkeit mit der zur Zersetzung des salzsauren Baryts erforderlichen Schwefelsäure vermischt.

b) In der von dem schwefelsauren Baryt getrennten Flüssigkeit bewirkte Ammoniak einen Niederschlag, der mittelst des in diesen Annalen, Bd. XVIII S. 408 und 411, beschriebenen Filtrirapparats *) wohl ausgesüfst wurde.

c) Die durchgegangene Flüssigkeit wurde, unter stetem Umrühren mit einem Glasstabe, zur Trocknifs abgedampft, und die so erhaltenen ammoniakalischen Salze auf einem flachen Porcellanschälchen, von etwa drei Zoll Durchmesser, ausgebreitet, welches auf einem kleinen Dreifufs von Eisendraht dergestalt in eine Platinschale von etwas gröfserem Durchmesser gesetzt wurde, dafs es dieselbe an keiner Stelle berührte. Mittelst dieses Apparats gelang es mir, das schwefelsaure Ammoniak ohne Gefahr des Spritzens vollständig zu verdampfen, obschon die Platinschale oft bis zum Rothglühen erhitzt wurde. Nachdem der Rückstand in verdünnter Schwefelsäure gelöst und durch Filtriren von einer geringen organischen Verunreinigung, welche nach dem Verdampfen des reinsten Ammoniaks fast immer übrig zu bleiben pflegt, befreit war, wurde die Flüsssigkeit in tarirter Platinschale auf das Neue abgedampft, stark geglüht, und alsdann die erhaltene Masse gewogen und zur ferneren Untersuchung zurückgestellt.

d) Um den in *b* erhaltenen Niederschlag weiter zu zerlegen, löste ich ihn anfangs nach dem Glühen und Wägen in Salzsäure, und behandelte ihn dann mit kaustischem Kali. Später aber durch die Erfahrung eines Besseren belehrt, trug ich ihn noch feucht vom Filtrum in die kaustische Lauge. Der unlösliche Rückstand wurde wohl ausgesüfst und nach dem Glühen gewogen.

e) Nachdem die in *d* erhaltenen alkalischen Flüs-

*) Einen ähnlichen Apparat, den Gay-Lussac zu gleichem Zweck anwendet, findet man Taf. IV Fig. 2 abgebildet. Er wird, nach Lesung der erwähnten Aufsätze, ohne Beschreibung verständlich seyn. *P.*

sigkeiten durch Salzsäure reichlich gesättigt waren, wurde durch kohlensaures Kali die Thonerde gefällt und bestimmt. Waren durch die Kalilauge gelöste Metalloxyde darin enthalten, so wurden sie zuvor mit Schwefelwasserstoffwasser behandelt, und das entstandene Schwefelmetall davon getrennt.

f) Der Rückstand aus *d* wurde nun in Salzsäure gelöst, und, nach reichlichem Zusatze von Salmiak, die Lösung mit basischem bernsteinsauren Ammoniak gefällt. Der Niederschlag enthielt neben dem bernsteinsauren Eisenoxyd fast immer etwas Thonerde; er wurde getrocknet, gewogen und dann wie in *d* behandelt.

g) Die vom bernsteinsauren Eisenoxyd getrennte Flüssigkeit wurde entweder zugleich mit der in *c*, oder auf ähnliche Weise behandelt, und die Natur des so erhaltenen Salzes genau erforscht.

Soviel zur allgemeinen Erläuterung des von mir in meinen Analysen befolgten Ganges. Die Art und Weise, wie ich in vorkommenden Fällen bei der Bestimmung der Oxyde des Zink, Chrom, Eisen und Mangan verfahren habe, werde ich, so wie Alles andere Bemerkenswerthe, an seinem Orte anführen. — Zu erwähnen brauche ich wohl kaum, daſs ich mich von der Reinheit der angewandten Reagenzien durch mehrfache Versuche überzeugte, und auch sorgfältig das Gewicht der Asche des angewandten Filtrirpapiers ausmittelte, um bei dem Wägen der Niederschläge auch von dieser Seite einem Fehler wo möglich vorzubeugen.

Um zu erfahren, ob der kohlensaure Baryt durch das Schmelzen *gänzlich* von seiner Kohlensäure befreit, also vollkommen kaustificirt werde, wie solches die Leichtigkeit, mit welcher er den Spinell auflöste, zu beweisen schien, und wie sich der kohlensaure Strontian in dieser Beziehung verhalte, habe ich folgende Versuche angestellt.

Erster Versuch. 29 Grammen derben Witherits wurde im Platintiegel auf die eben beschriebene Weise eine gute Stunde hindurch im starken Feuer erhalten; kaum erkaltet zeigte sich ein Gewichtsverlust von 3,50 Grammen, wonach die Masse 12,36 Proc. verloren hatte. In verdünnter Salzsäure löste sie sich unter schwachem Brausen.

Zweiter Versuch. 6,237 Grm. künstlich bereiteten kohlensauren Baryts wurden drei Viertelstunden lang auf das Heftigste geglüht, worauf das Gewicht 5,485 Grm., der Verlust also 12,07 Proc. betrug. Nach wiederholter drei viertelstündiger Schmelzung betrug der Verlust 17,21 Procent. Die Masse zum dritten Male dem Feuer ausgesetzt, zog aber nun während des Erkaltens mit solcher Begierde Feuchtigkeit an, dafs eine genaue Gewichtsbestimmung nicht weiter möglich war; es hatte übrigens ein neuer Verlust stattgefunden.

Die geschmolzene auf der Oberfläche bläulich erscheinende Masse wurde vor der Lösung zufällig zwölf Stunden im Tiegel eingeschlossen gehalten. Während dieser Zeit zog sie mit solcher Begierde Wasser und Kohlensäure an, dafs der Tiegel, der Expansionskraft nachgebend, ringsherum eine bedeutende ringförmige Ausbeugung erhielt. Es war augenscheinlich, dafs der Baryt, je näher dem Boden des Tiegels, um so vollständiger kausticirt worden, denn an dieser Stelle zeigte er durch Salzsäure auch nicht die geringste Gasentwicklung.

Dritter Versuch. Eine Quantität Barythydrat vom Krystallisationswasser befreit und einer halbstündigen Schmelzhitze ausgesetzt, zeigte ebenfalls einen Verlust, der aber der schnellen Gewichtszunahme wegen nicht genau zu bestimmen war.

Aus den angeführten Versuchen ergiebt sich, dafs der kohlensaure Baryt durch das Feuer seine Kohlensäure vollkommen verliert, und deshalb während des Schmelzens die starke alkalische Wirkung ausübt. Ob-

gleich der Platintiegel im zweiten Versuch der alkalischen Masse am längsten ausgesetzt gewesen war, so zeigte sich an ihm weder die geringste Beschädigung, noch Gewichtsverlust.

Um das Verhalten des kohlensauren Strontians in dieser Beziehung kennen zu lernen, bereitete ich mir reinen kohlensauren Strontian. 2,923 Grm. desselben, nachdem sie unter den bekannten Bedingungen drei Viertelstunden lang im starken Feuer gehalten waren, zeigten ein Gewicht von 2,03 Grm. an. Es waren also 30,58 Procent entwichen, mithin das Salz seiner Kohlensäure vollkommen beraubt. Die einzelnen Stücke der geglühten Masse erschienen ganz in ihrer früheren Gestalt, jedoch mit bedeutend kleinerem Volum, und im Innern mehr oder wenig fest zusammengesintert. An Kausticität übertrafen sie den Kalk bei weitem.

Nach Vorausschickung dieser Erfahrungen werde ich jetzt zur speciellen Beschreibung der von mir angestellten Untersuchungen übergehen, ihnen aber immer eine kurze Angabe der vorhandenen Analysen vorangehen lassen.

I. Untersuchungen über den Spinell.

Es darf für gewifs angenommen werden, dafs der Spinell als Edelstein schon von den frühesten Zeiten an bekannt gewesen, und als eine besondere Species des orientalischen Rubins betrachtet worden sey. Keinesweges aber trifft die übrigens unbekannte Entstehung seines heutigen Namens mit der genauen Erkenntnifs über seine Natur zusammen. Derselbe galt schon bei weitem früher, ehe Romé de l'Isle durch genaue krystallographische Messungen zuerst zeigte, dafs der Spinell durch besondere Krystallform vom Rubin geschieden sey, was auch bald darauf auf chemischem Wege durch Klaproth bestätigt ward, welcher den damals nur bekannten rothen

Spinell zuerst einer genauen Analyse unterwarf, der eine zweite von Vauquelin nachfolgte. Seitdem der in Schweden gefundene blaue Spinell im Jahre 1817 von Berzelius und Hisinger untersuht worden, erschien keine weitere Arbeit über diesen Gegenstand.

In mineralogischer Beziehung sind die Mittheilungen des Grafen Bournon *) bemerkenswerth, insofern aus der ausführlichen Beschreibung, die er über die verschiedenen Lagerstätten des rothen Spinells auf Ceylon giebt, eine grofse Aehnlichkeit mit dem Vorkommen des blauen zu Åker in Schweden hervorgeht. So wie hier stets der blaue, erscheint dort der rothe meistentheils in grobkörnigem Kalk in häufiger und inniger Begleitung eines ausgezeichneten messinggelben Glimmers, und zwar hinsichtlich der Farbe vom Dunkelroth an durch alle Nüance wechselnd, auch wohl hellblau und ganz farblos. Zu den neueren Fundorten des rothen und blauen Spinells gehören der Vesuv und die Gegend um den Laacher See.

Verhalten des Spinells vor dem Löthrohr und zu den Säuren.

Die besten Kennzeichen sind die Erscheinungen an kleinen Stücken in der äufseren Flamme und des Pulvers mit Kobaltsolution. Im ersten Falle geht die rothe Farbe in das Violette über, die beim Erkalten wieder verschwindet, und im zweiten wird eine um so schönere blaue Farbe erzeugt, je feiner das angewandte Pulver war.

Nach Vauquelin's **) Versicherung soll der Spinell, im feinsten geschlämmten Zustande mit concentrirter Schwefelsäure übergossen, und mehrere Stunden, bis zum Verschwinden der Säure, im Dampfbade gehalten, gröfstentheils aufgelöst werden. Genau die Vorschrift befolgend, gelang es mir jedoch, unter mehreren Versuchen

*) *Tilloch philosophical magazine, Jan.* 1824, *p.* 30.

**) Scheerer, Journal der Chemie, Bd. II. S. 37.

niemals mehr als den dritten Theil aufzulösen. Durch die concentrirte Salzsäure wird der Spinell, unter gleichen Bedingungen, nur sehr wenig angegriffen, und von der Salpetersäure gar nicht.

Frühere Analysen des rothen und blauen Spinells.

Klaproth *) behandelte das im Achatmörser geschlämmte Pulver zwei Mal mit dem zehnfachen Gewicht an kaustischem und kohlensaurem Kali bei einstündiger Hitze im Silbertiegel; und erhielt, nach der Lösung der Masse in Wasser, einen weiter zu erforschenden Rückstand. Aus der abfiltrirten, durch Schwefelsäure neutralisirten Flüssigkeit wurde durch kohlensaures Kali die Thonerde gefällt, und diese mittelst Schwefelsäure und essigsauren Kali's in Alaun verwandelt. Aus der Mutterlauge schlug blausaures Kali das Eisen nieder. Die Thonerde wurde aus der wäſsrigen Auflösung des Alaun durch Ammoniak gefällt. Zur Ausscheidung der Talkerde wurde der oben erwähnte Rückstand in verdünnter Schwefelsäure gelöst, und, nach Abscheidung der Kieselerde mit essigsaurem Kali versetzt, der Krystallisation überlassen. Zuerst krystallisirte Alaun und dann Bittersalz, aus welchem die Talkerde durch kohlensaures Kali in der Siedhitze abgeschieden wurde. Auf diese Weise bestimmte Klaproth zu Ende des vorigen Jahrhunderts die Zusammensetzung des Spinells folgendermaſsen:

Thonerde	74,50
Kieselerde	15,50
Talkerde	8,25
Eisenoxyd	1,50
Kalk	0,75
	100,50.

Vauquelin **) schloſs den Spinell beinahe auf

*) Beiträge, Bd. II S. 1.

**) Scheerer, Journal der Chemie, Bd. II S. 27.

gleiche Weise auf wie Klaproth; er kochte die eingedampfte und mit Salzsäure behandelte Flüssigkeit eine Viertelstunde hindurch mit Kalilauge. Den erhaltenen Rückstand löste er in Schwefelsäure und schlug die Talkerde durch kohlensaures Kali nieder. Die Thonerde wurde durch kohlensaures Kali ausgefällt. Neben der Talkerde war ein in Säuren unlösbares Pulver zurückgeblieben, von welchem, nach einigen damit angestellten, nicht ganz klaren Versuchen, angenommen ward, dafs es Kieselerde und Chromsäure enthalten hätte. Jedoch ward die Kieselerde für unwesentlich, und vom Achatmörser herrührend, betrachtet, und die Gegenwart des Eisens gänzlich geläugnet. Für die Zusammensetzung des Fossils ergab sich demnach:

Thonerde	86,00
Talkerde	8,50
Chromsäure	5,25
	99,77.

In Bezug auf die grofse Verschiedenheit in den Resultaten der beiden erwähnten Analysen, möchte ich, der vorgefafsten Meinung nicht zu gedenken, welche Vauquelin bei dieser Arbeit offenbar leitete, beinahe glauben, dafs unter den von ihm untersuchten Krystallen einige Rubine befindlich gewesen, da diese so leicht eine Verwechselung mit dem Spinell zulassen.

Von Berzelius und Hisinger *) wurden 82 Gran des im Achatmörser geschlämmten blauen Spinells mit der doppelten Menge borsauren Kali's im Platintiegel aufgeschlossen, und die Masse, nach vollkommener Lösung in Salzsäure, durch kohlensaures Kali gefällt. Salzsäure nahm den Niederschlag, mit Zurücklassung der Kieselerde, vollständig auf, worauf die Lösung zwei Mal mit Kali gekocht und die Thonerde alsdann auf bekannte Weise bestimmt wurde. Nachdem aus dem, wiederum in Salz-

*) Gehlen's neues Journal der Chemie, Bd. VI. S. 304.

säure gelösten, Rückstande das Eisen durch bernsteinsaures Ammoniak geschieden war, wurde durch kohlensaures Kali ein Niederschlag bewirkt, und dieser wiederum durch Schwefelsäure gelöst. Nach einem Zusatz von Schwefelsäure bildeten sich erst Alaunkrystalle und alsdann Bittersalz, welches, durch kohlensaures Kali zerlegt, die Talkerde darstellte. Nach dieser Analyse ergab sich die Zusammensetzung wie folgt:

Kieselerde	5,48
Thonerde	72,25
Talkerde	14,63
Eisenoxyd	4,26
	96,62.

Die von mir, nach Anleitung der Seite 311 aus einander gesetzten Methode, angestellten Analysen des blauen und rothen Spinells sind folgende.

Analyse des *blauen Spinells* von Åker.

A. Qualitative.

Für diesen Zweck bediente ich mich der im neunten Versuch (S. 308) aufgeschlossenen Quantität von 0,526 Grm.

a) Nach dem Abdampfen und Wiederauflösen der aufgeschlossenen Masse blieben 0,009 Grm. zurück, die für Kieselerde erkannt wurden.

b) Ammoniak erzeugte in der Flüssigkeit einen blafsgelben Niederschlag, der, an der Luft dunkler werdend, ausgesüfst und getrocknet wurde. Erst nach dreimaligem Glühen, währenddem eine deutliche Entwicklung von schwefliger Säure bemerkbar war, zeigte sich das Gewicht constant.

c) Nachdem in der abfiltrirten Flüssigkeit die Abwesenheit des Kalks erkannt war, behandelte ich dieselbe auf die in *c* (S. 312) beschriebene Weise, und erhielt ein, bis auf eine geringe organische Verunreini-

gung in Wasser lösbares Salz. Das geringe Vorhandenseyn von Mangan in der Flüssigkeit bewies die braune Färbung derselben durch Schwefelwasserstoff. Nach wiederholtem Abdampfen und starkem Glühen erhielt ich 0,275 Grm. eines Salzes, welches, in Wasser gelöst, in deutlichen Krystallen als Bittersalz anschofs, und mithin 0,087 Grm. reiner Talkerde entsprach.

d) Der Niederschlag in *b* nach *d* (S. 312) behandelt, löste sich in Salzsäure bis auf 0,013 Gramm auf. Dieser Rückstand, mit dreifacher Menge kohlensauren Kali's geschmolzen, zeigte sich aus 0,009 Grm. Thon- und etwas Talkerde zusammengesetzt, welche sich durch phosphorsaures Natron zu erkennen gab.

e) Aus der Lösung in *d* wurde nun die Thonerde ausgeschieden, und der in der Kalilauge unlösliche Rückstand nach *f* (S. 313) aus 0,044 Grm. Eisenoxyd und 0,121 Grm. Talkerde zusammengesetzt gefunden. Die letztere erhielt ich ebenfalls als schwefelsaures Salz in deutlichen Krystallen, so wie durchaus frei von Kalkerde, die sich eben so wenig bei der Talkerde in *c* nachweisen liefs.

B. Quantitative Analyse.

Diese wurde mit 2,344 Grm. angestellt.

Obschon der Lauf der ganzen Analyse derselbe wie bei der vorhergehenden ist, so gebe ich dennoch eine etwas ausführliche Beschreibung, um in den folgenden desto kürzer seyn zu können.

Die Analyse zerfällt in drei natürliche, einzeln zu betrachtende Hauptheile:

I. Durch das Abdampfen wurden an Kieselerde erhalten 0,052 Grm., von welchen durch Schmelzen mit kohlensaurem Kali noch 0,01 Grm. Talkerde getrennt wurden.

II. Der durch Ammoniak erhaltene Niederschlag wog 2,165 Grm.

III.

III. Die schwefelsaure Talkerde nach S. 312 erhalten, wog 0,57 Grm., welche 0,193 Grm. reiner Talkerde entsprechen.

Untersuchung des Niederschlags II.

a) In Salzsäure wurde er bis auf 0,06 Grm. gelöst, welche aus 0,043 Grm. Thonerde und 0,015 Grm. Talkerde bestanden, wie ich diefs durch Schmelzen mit kohlensaurem Kali und Fällen mit Ammoniak, nach vorhergegangenem Zusatz von Salmiak, ausmittelte.

b) Die ausgeschiedene Thonerde wog 1,418 Grm.; in Schwefelsäure gelöst blieben 0,01 Grm. Kieselerde zurück.

c) Den in Kalilauge unlöslichen Rückstand löste ich noch feucht in Salzsäure auf, und bewirkte durch bernsteinsaures Ammoniak einen Niederschlag von 0,269 Grm.

d) Die abfiltrirte Flüssigkeit lieferte 1,121 Grm. schwefelsaure Talkerde, welche 0,381 reiner Erde entsprachen.

e) Den Niederschlag von 0,269 aus *c* löste ich wiederum in Salzsäure, worauf ein gelbes Pulver zurückblieb, welches auf gleiche Weise wie in *a* in 0,01 Thonerde und 0,005 Talkerde zerlegt wurde.

f) Die Lösung aus *e*, nach *f* (S. 313) behandelt, gab mir 0,094 Grm. Eisenoxyd und 0,155 Grm. Thonerde.

Obschon die schwefelsaure Magnesia aus *d* und III eine Viertelstunde hindurch auf das stärkste geglüht wurde, so blieb sie dennoch vollkommen in Wasser löslich.

Als einen Beweis, dafs die schwefelsaure Magnesia aus *d* und III durchaus rein und von Thonerde frei war, durfte ich es ansehen, dafs sie nach viertelstündigem Glühen in Wasser vollkommen löslich blieb, langsam wieder abgedampft, gänzlich in deutlichen und schönen Bittersalzkrystallen anschofs, und endlich, dafs die Berechnung der Magnesia aus dem geglühten schwefelsaurem Salze mit der, unter Voraussetzung der sonstigen Richtigkeit der Analyse, zu er-

wartenden Quantität jedesmal übereinstimmte, da die letztere, im Falle vorhandener schwefelsaurer oder reiner Thonerde, nothwendig immer hätte zu klein werden müssen. Unter der Voraussetzung, die am Schlusse dieses Aufsatzes noch näher erörtert werden wird, dafs das Eisen im Zustande des Oxyduls im Spinell vorhanden sey, waren die erhaltenen 0,094 Grm. Eisenoxyd in 0,082 Eisenoxydul umzuändern, und so ergiebt sich demnach die Zusammensetzung der zur Analyse angewandten 2,344 Grammen wie folgt:

	Grm.	Procent.
Kieselerde (aus I und *b*)	=0,053	= 2,25
Thonerde (aus *a*, *b*, *e*, *f*)	=0,616	=68,94
Talkerde (aus *a*, *d*, *e* und III)	=0,604	=25,72
Eisenoxydul (aus *f*)	=0,082	= 3,49
Spur von Mangan		
	2,355	100,47.

Da bei Vergleichung des Gewichts des Niederschlages II von 2,165 Grm. mit dem der Summe seiner Bestandtheile (*a* bis *f*) von 2,041 Grm. diese letztere kleiner erschein, und ich aufserdem bei dem Glühen desselben dieselbe Beobachtung gemacht hatte wie in *b*, der qualitativen Analyse, so schien es mir gewifs, dafs dieser Umstand von basisch schwefelsaurer Thonerde herrühre, deren Zerstörung durch das Glühen erst vermöge der Kohle des Filtrums allmälig vor sich gehe. Deshalb erachtete ich es in der Folge für besser, die langwierige und der Richtigkeit der Analyse ohnehin keinen Nutzen versprechende Gewichtsbestimmung dieses Niederschlages aufzugeben, und denselben nur schwach getrocknet, noch feucht in die kaustische Lauge zu tragen, wodurch ich mir zugleich die Trennung der Talkerde von der Thonerde erleichterte, deren Verbindung durch das Glühen noch hartnäckiger wird.

Analyse des rothen Spinells von Ceylon.

Zu dieser Analyse wählte ich nur vollkommen reine und ausgebildete Krystalle, durchsichtig und von hochrother Farbe. Das Steinpulver erschien rosenroth, und nach einviertelstündigem starken Glühen in's Violette spielend.

Nachdem 2,617 Grm. mit dem *vierfachen* Gewicht kohlensauren Baryts auf die bekannte Weise geschmolzen waren, erschien die Masse von spangrüner Oberfläche und mit glänzenden, krystallinischen Schüppchen bedeckt. Die schwachsaure Auflösung war blafsgelb; durch Verdampfung in die Enge getrieben, und nach geringem Zusatz von Alkohol ging jedoch die Farbe in das Grüne über, welches aber durch Verdünnung mit Wasser beinahe gänzlich wieder verschwand; ein Beweis von nur geringem Chromgehalt.

Der Weg der Untersuchung war ganz derselbe wie in der vorhergehenden Analyse. Das Chrom, welches im Zustande des Oxyduls in dem Spinell anzunehmen ist, blieb zugleich mit dem Eisenoxyd und der Talkerde von der kaustischen Lauge ungelöst zurück. Zur Trennung dieser verschiedenen Stoffe löste ich das Ganze im Ueberschufs von Salzsäure auf, und bewirkte, nach vorhergegangener Neutralisation mit Ammoniak, durch bernsteinsaures Ammoniak einen Niederschlag, den ich zur Abscheidung der Thonerde noch einmal mit Kalilauge behandelte. Der Rückstand, getrocknet und geglüht, wog 0,063 Grm. Er wurde mit dem sechsfachen Gewicht an kohlensaurem Kali eine halbe Stunde hindurch stark zusammengeschmolzen, worauf die in Wasser gelöste Masse 0,024 Grm. Eisenoxyd zurück liefs, in welchem das Löthrohr keine Spur von Chrom anzeigte. Es war dasselbe also allein als chromsaures Kali in der Auflösung enthalten, und wurde, nach vorhergegangener Desoxydation durch Salzsäure, vermittelst Ammoniak als Chromoxydul herausgefällt.

Die Zusammensetzung der 2,617 Grm. wurden demnach folgendermafsen ausgemittelt:

Kieselerde	0,053 Grm.	= 2,02	Proc.
Thonerde	1,806 -	=69,01	-
Talkerde	0,686 -	=26,21	-
Eisenoxydul	0,021 -	= 0,71	-
Chromoxydul	0,029 -	= 1,10	-
	2,595 Grm.	99,05	Proc.

Bei dem bedeutenden Unterschiede zwischen den hier mitgetheilten Resultaten und denen von Klaproth und Berzelius darf es mir erlaubt seyn, mich für die Richtigkeit meiner Arbeit auf den offenbaren Vortheil zu stützen, den mir eine sichere und einfachere Methode vor den übrigen darbot, und zur Ausgleichung jener Verschiedenheit die Annahme aufzustellen, dafs die fehlende Talkerde in der Analyse von Klaproth bei der Kieselerde, in der von Berzelius theils eben so, theils im Verlust zu suchen sey.

II. Untersuchungen über den Pleonast.

Dieses Fossil wurde zuerst von Rome de l'Isle unter einer Mehrzahl von Mineralien aus Ceylon beobachtet, und von ihm mit dem Namen Ceylanit belegt. Haüy, auf einseitige Vergleichung seiner Krystallform mit der des Spinells gestützt, war anfangs geneigt, ihm eine besondere Stelle im System anzuweisen, und nannte es, nach den gleichsam überzähligen Leucitoidflächen, Pleonast. Nachdem er diese Flächen aber auch am rothen Spinell entdeckt hatte, erkannte er die richtige Natur des neuen Fossils als schwarze Varietät des Spinells, wie solches auch die Untersuchungen von Collet-Descotils und Anderen bestätigten.

Fast alle Pleonaste, deren Vorkommen ungemein

verbreitet ist, geben, sowohl die sammt- als grünlich-schwarzen, ein graugrünes Pulver. Bemerkenswerth ist ihre oft sehr innige Verbindung mit dem Glimmer, selbst da, wo derselbe keinen besonderen Bestandtheil des Muttergesteins ausmacht. Auf Ceylon, wo sie auch in Verbindung mit dem rothen Spinell vorkommen, finden sie sich an einer Stelle so häufig und eng mit einander verbunden, dafs sie ganz die Natur eines derben Gesteins annehmen, in welchem Zustande der Pleonast vom Grafen Bournon *Candit* genannt worden ist.

Verhalten vor dem Löthrohr und zu den Säuren.

Vollkommene Unschmelzbarkeit und Löslichkeit in Borax und Phosphorsalz zum eisenfarbigen Glase sind die besten Kennzeichen. Zu den Säuren verhält er sich auf gleiche Weise wie der Spinell, nur in weit schwächerem Grade.

Aeltere Analysen des Pleonast.

Collet-Descotils *) unterwarf den Ceylanit einer dreimaligen Behandlung mit kaustischem Kali, und schied aus der aufgeschlossenen und in Salzsäure gelösten Masse die Thonerde durch Kalilauge. Den von Schwefelsäure aufgenommenen Rückstand schlug er durch Ammoniak nieder, wodurch, aufser dem Eisenoxyd, auch Thonerde und etwas Talkerde gefällt wurde. Die Thonerde gewann er durch Alaunbildung, und die Talkerde wurde vom Eisen durch kohlensaures Kali geschieden.

Nach ihm ist die Zusammensetzung des Ceylanits folgende:

Kieselerde	0,02
Thonerde	0,68
Talkerde	0,12
Eisenoxyd	0,16
	0,98.

*) *Journal des Mines, V p.* 421.

Die bald darauf folgende, auf ähnliche Weise angestellte Analyse von Laugier *) gab diese Verhältnisse:

Kieselerde	2,0
Thonerde	65,0
Talkerde	13,0
Eisenoxyd	16,5
Kalk	2,0
	98,5.

C. G. Gmelin **) sagt von dem Candit, den er der Analyse unterwarf, nur, dafs zu seiner Pülverung im Achatmörser kaum acht Stunden hingereicht hätten, und dafs die auf gewöhnlichem Wege angestellte Untersuchung des durch kohlensaures Natron aufgeschlossenen Pulvers folgendes Resultat gegeben habe:

Thonerde	57,20
Eisenoxyd	20,51
Talkerde	18,24
Kieselerde	3,15
Verlust	0,80
	99,10.

Für diese Zusammensetzung hält er endlich folgende Formel: $MA^2 + fA^2$, am passendsten.

Um für die Bestimmung des Mischungsgesetzes bei den Pleonasten ein sicheres Resultat zu erlangen, stellte ich vier Analysen dieses Fossils an, und zwar von den verschiedensten Fundorten.

1) Analyse des Pleonasts vom Ural.

Der Pleonast kommt hier im dichten Gehlenit vor, mit welchem er auf das Innigste verwachsen ist. Das mir zu Gebote stehende Bruchstück dieses Gesteins war

*) *Mém. du Musée*, *XII p.* 183.

**) *Edinb. philosoph. Journ. T. IX p.* 384.

an Krystallen so reich, daſs sie an einigen Stellen zur derben Masse verwachsen erschienen. Aus der Mitte einer solchen Masse wählte ich mir vollkommen reine Bruchstücke zur Analyse aus. Die Glimmerblättchen, von denen das ganze Fossil mehr oder minder durchdrungen war, wurden während des Reibens sorgfältig ausgesucht, und 1,702 Grm. des grünlichen Pulvers auf die bekannte Weise untersucht.

An Kieselerde erhielt ich 0,043 Grm., nachdem durch Salzsäure etwas Eisen ausgezogen und der Rückstand mit kohlensaurem Kali geschmolzen worden war, bei welcher Operation sich immer noch ein wenig Thonerde abschied.

Aus den zwei Quantitäten ammoniakalischer Salze erhielt ich Talkerde: 0,298 Grm., ferner Eisenoxyd 0,266 Gramm, welches 0,238 Grm. Eisenoxydul entspricht, und Thonerde, für sich und vom Eisen geschieden, 1,111 Grm.

Die Zusammensetzung der 1,702 Grm. ergab sich demnach:

Kieselerde	0,043 Grm.	= 2,5 Proc.
Thonerde	1,111 -	=65,27 -
Talkerde	0,298 -	=17,58 -
Eisenoxydul	0,238 -	=13,97 -
	1,690 Grm.	=99,32 Proc.

2) Analyse des Pleonast vom Monzoni.

Dieser, ebenfalls im dichten Gehlenit eingewachsen, unterscheidet sich von dem vorhergehenden hauptsächlich dadurch, daſs er aus dem Muttergestein in scharfen und ausgebildeten Krystallen gebrochen werden kann, an denen sich oft die Flächen des Granatoëders und Leucitoids recht schön beobachten lassen.

Gröſstentheils erscheinen die Krystalle indeſs auf der Oberfläche angefressen und durch kohlensauren Kalk verunreinigt, der in kleinen Rissen oft den ganzen Krystall

durchsetzt. Von dem hiervon durch Salzsäure befreiten Pulver wurden 2,02 Grm. der Analyse unterworfen, welche, auf demselben Wege wie die vorhergehende angestellt, zu folgendem Resultate führte:

Kieselerde	0,025 Grm.	= 1,23 Proc.
Thonerde	1,353 -	=68,89 -
Talkerde	0,477 -	=23,61 -
Eisenoxydul	0,163 -	= 8,07 -
	2,018 Grm.	=99,80 Proc.

3) Analyse des Pleonasts vom Vesuv.

Die für diese Analyse bestimmten Krystalle waren in einer zerbrechlichen Masse, aus glasigem Feldspath, kohlensaurem Kalk und Nephelin bestehend, zugleich mit krystallisirtem Magneteisenstein sparsam verbreitet. Von dem letzteren wurden sie durch den Magnet, und vom Kalk, der innig an ihnen haftete, durch Salzsäure getrennt. Die sehr deutlichen Krystalle erschienen rabenschwarz, gaben aber dennoch ein hellgrünes Pulver, wovon, wegen der geringen Quantität, nur 0,713 Grm. zur Analyse angewendet werden konnten.

Kieselerde erhielt ich 0,01. Der Rückstand aus der Kalilauge, 0,068 Grm. wiegend, wurde in 0,042 Grm. Eisen, 0,016 Grm. Thonerde und 0,01 Grm. Talkerde zerlegt. Von den ammoniakalischen Salzen wurden durch Abdampfen 0,504 Grm. schwefelsaurer Magnesia geschieden, welche 0,171 Grm. reiner Talkerde entsprach.

Die Zusammensetzung der 0,713 Grm. ergab sich:

Kieselerde	0,01 Grm.	= 2,38 Proc.
Thonerde	0,491 -	= 67,46 -
Talkerde	0,181 -	= 25,94 -
Eisenoxydul	0,036 -	= 5,06 -
	0,718 Grm.	=100,84 Proc.

Bemerkenswerth ist, dafs in dieser Analyse beinahe

die ganze Quantität Talkerde in der Auflösung, aus welcher durch Ammoniak die Thonerde und das Eisen gefällt worden waren, zurückblieb, da bei den übrigen immer ein Theil der Talkerde zugleich mit jenen gefällt wurde.

4) Analyse des Pleonasts von der Iserwiese.

Dieser, nur als Geschiebe in abgerundeten Krystallen und Bruchstücken vorkommende, Pleonast unterscheidet sich von den übrigen merklich durch gröfsere Härte, Sprödigkeit, vollkommen muschlichen Bruch und starken Glasglanz, weshalb er sich auch besonders zum Schleifen eignet. Das Pulver erschien schwarzbraun und nach dem Glühen violett.

2,457 Grm. desselben wurden wie gewöhnlich aufgeschlossen und behandelt.

Da die saure Lösung während des Abdampfens aus der gelben Farbe in das Grüne überging, erkannte ich die Gegenwart von Chrom, welches ich hernach auf dieselbe Weise vom Eisen trennte, wie ich es (S. 323) beschrieben habe.

Das Gewicht der ersten Quantität Magnesia war 0,338 Grm., das der zweiten 0,099 Grm.

Die Analyse gab folgendes Resultat:

Kieselerde	0,044	Grm.	= 1,79	Proc.
Thonerde	1,466	-	=59,66	-
Talkerde	0,437	-	=17,7	-
Eisenoxydul	0,474	-	=19,29	-
Chromoxydul	0,018	-	= 0,73	-
Spur von Mangan				
	2,4399	Grm.	= 9,17	Proc.

III. Untersuchungen über den Gahnit.

Im Jahre 1808 wurde dieses Fossil zuerst in den Bergwerken von Fahlun gefunden. Nach seinem Entdecker genannt, schien es, seinen physikalischen Eigenschaften nach, mit den Edelsteinen verwandt, jedoch widersprach der starke Zinkgehalt dieser Annahme. Aus diesem Grunde wurde ihm anfänglich eine besondere Stelle im System angewiesen, und in diesem der Name *Automolith* (Ueberläufer) beigelegt. Haüy vermuthete indefs schon richtig seine Natur, welche neuere Untersuchungen bald aufser allen Zweifel setzten, und nichts hinderte, ihn dem Spinell als eine grüne Varietät beizugesellen.

Der Gahnit, in seinen äufseren Eigenschaften dem Pleonast sehr ähnlich, ist oft schwer von ihm zu unterscheiden, besonders da er ein Pulver von gleicher, wenn gleich etwas hellerer graugrüner Farbe giebt. Am sichersten entscheidet das *Verhalten vor dem Löthrohr.* Das Pulver wird von Borax und Phosphorsalz nur sehr schwer und wenig gelöst. Mit Soda in der inneren Flamme eine Weile behandelt, giebt es eine schwarze Schlacke und setzt Zinkoxyd um die Probe ab. Zu den Säuren verhält sich der Gahnit dem Pleonast gleich.

Aeltere Untersuchungen des Gahnit.

Ekeberg*), um den Zinkgehalt des neuen Fossils genau zu prüfen, verwandte zur Analyse eine halbe Unze reiner Krystalle, die er mittelst eines Stahlmörsers zum feinsten Pulver brachte, und durch Salzsäure reinigte.

Drei Mal wiederholtes Schmelzen mit kaustischem Kali genügte kaum, um die ganze Quantität aufzulösen. Nachdem aus der salpetersauren Auflösung die Kieselerde auf die bekannte Weise getrennt war, schied er die Thonerde durch kohlensaures Kali und Ammoniak, und

*) Gehlen's neues Journal, V S. 418.

bestimmte sie als Alaun. Das durch Ammoniak gefällte Eisen- und Zinkoxyd trennte er durch kaustisches Kali. Auf diese Weise fand er den Gahnit zusammengesetzt aus:

Thonerde	=60
Kieselerde	= 4,75
Zinkoxyd	=24,25
Eisenoxyd	= 9,25
Spuren von Mangan und Kalk	-
Verlust	= 1,75
	100,00.

Die bald darauf von Vauquelin *) angestellte Analyse gab ein aufserordentlich abweichendes Resultat. Nach ihm war der Gahnit zusammengesetzt aus:

Thonerde	42	Proc.
Zinkoxyd	28	-
Eisenoxyd	05	-
Kieselerde	04	-
Schwefel	17	-
Rückstand	01	-
	97.	

Aus der ganzen Beschreibung der Analyse geht deutlich hervor, dafs die zu dieser Analyse verwendete Quantität durch Bleiglanz oder Zinkblende verunreinigt war, wie diefs sehr leicht geschehen kann, da beide Substanzen oft innig mit dem Gahnit verwachsen sind. Aufserdem konnte die Aufschliefsungsmethode, welche ein viermaliges Schmelzen mit Kali erforderte, kein sicheres Resultat geben; weshalb auch Vauquelin selbst die Richtigkeit seiner Arbeit in Zweifel zieht.

Nach dieser kurzen Darstellung wende ich mich zur Beschreibung der beiden von mir angestellten Analysen dieses Fossils.

*) Gehlen's Journal, II S. 38.

1) Analyse des Gahnits von Fahlun.

Reine und vollkommen ausgebildete Krystalle wurden von dem sie einschliefsenden Talkschiefer getrennt, zertrümmert und nur durchsichtige und scharfkantige Bruchstücke zur Analyse ausgewählt, die mit 2,914 Grm. des mäfsig feinen Pulvers angestellt wurde. Die Methode war dieselbe wie bei den früheren Analysen; da jedoch die Abscheidung des Zinkes eine Verschiedenheit bedingte, und ich durch die qualitative Analyse von der Gegenwart der Talkerde belehrt war, so will ich den Gang der Untersuchung hier noch einmal mit wenigen Worten andeuten.

Die Auflösung der vollkommen geschmolzenen Masse spielte etwas in das Violette.

a) Durch das Abdampfen derselben und aus der Thonerde wurden 0,112 Kieselerde erhalten.

b) Der durch Ammoniak bewirkte Niederschlag löste sich in Kalilauge bis auf einen Rückstand von 0,322 Grm. Nachdem aus der alkalischen Flüssigkeit das Zink durch Schwefelwasserstoff gefällt worden war, wurde die Thonerde durch kohlensaures Ammoniak niedergeschlagen, und ihr Gewicht gleich 1,607 Grm. gefunden.

c) Der Rückstand 0,322 Grm. aus (*b*) gab, in Salzsäure gelöst, durch bernsteinsaures Ammoniak 0,191 Gramm Eisenoxyd. Die durchgegangene Flüssigkeit, nachdem ein geringer Antheil von Zink als Schwefelmetall herausgefällt war, wurde zurückgestellt. Das Eisen war durchaus frei von anhängender Thonerde.

d) Die von dem durch Ammoniak in (*b*) erhaltenen Niederschlag getrennte Flüssigkeit enthielt noch einen bedeutenden Antheil Zink, welcher, als Schwefelzink mit dem aus *b* vermischt, in Salzsäure gelöst wurde. Nach der Abscheidung des Schwefels wurde das Zink unter starker Erhitzung durch kohlensaures Kali gefällt: es entsprach nach starkem Glühen 1,026 Grm. reinen Oxyds.

e) Talkerde wurde sowohl aus der vom Schwefelzink in (*d*), als aus der vom bernsteinsauren Eisen in (*c*) getrennten Flüssigkeit auf die bekannte Weise durch Abdampfen gewonnen. 0,45 Grm. schwefelsaure Talkerde entsprechen 0,153 Grm. reiner Magnesia.

f) Spuren von Mangan waren bei dem Schwefelzink in *b* und *c* bemerklich.

Die Summe der auf diese Weise erhaltenen Bestandtheile des Fossils von 3,939 Grm., verglichen mit der angewandten Quantität von 2,914 Grm., zeigte, dafs irgendwo ein Fehler vorhanden sey. Meine Vermuthung, dafs er im Zinkoxyde liege, bestätigte sich; denn nach dem Wiederauflösen desselben in Salzsäure und Fällung mit Schwefelwasserstoff gab die abgedampfte Flüssigkeit, mit Schwefelsäure versetzt, einen Rückstand von 0,19 Gramm, den ich für schwefelsaures Kali erkannte, und der 0,151 Grm. kohlensauren Kali's entspricht. Diese, von dem früheren Gewicht des Zinkoxyds abgezogen, lassen für dasselbe 0,875 Grm. zurück.

Die Zusammensetzung des schwedischen Gahnits ist also folgende:

Kieselerde	0,112	Grm.	3,84	Proc.
Thonerde	1,607	-	55,14	-
Talkerde	0,153	-	5,25	-
Eisenoxyd	0,171	-	5,85	-
Zinkoxyd	0,875	-	30,02	-
Spuren von Mangan				
	2,918	Grm.	100,10	Proc.

Von der Reinheit des Bittersalzes in (*e*) überzeugte mich die, bei allmäliger Verdampfung eintretende, vollkommene Krystallisation.

Bevor ich zur zweiten Analyse schritt, schien es mir zweckmäfsig, eine bessere Methode zur Abscheidung des Zinks, sowohl für sich, als aus seinen Verbindungen, aufzusuchen. Nach verschiedenen, zu diesem Zwecke ange-

stellten Versuchen fand ich endlich, was ich suchte. Es gelang mir nämlich, das in Zinkvitriol verwandelte Oxyd durch halbstündiges Glühen in einer Platinschale im Windofen gänzlich von seiner Schwefelsäure zu befreien. Drei Mal mit verschiedenen Quantitäten wiederholte Versuche bestätigten das Resultat, weshalb diese Methode mir vor allen übrigen empfehlenswerth scheint.

2) Analyse des Gahnits aus Amerika.

Dieser Gahnit kommt immer in einem aus Quarz, Hornblende, Kalkspath und Albit zusammengesetzten Gesteine vor. Die Krystalle, gleich ausgezeichnet durch Gröfse, Glanz und grasgrüne Farbe, gaben ein weifslichgrünes Pulver, wovon 2,198 Grm. zur Analyse bestimmt wurden. Die nähere Beschreibung dieser übergehend will ich nur anführen, dafs ich 0,034 Grm. Magnesia und einen in Kalilauge unlöslichen Rückstand von 0,395 Grm. erhielt, der, mit Salzsäure behandelt, ein unlösliches Pulver zurückliefs, welches ich aus Kieselerde, Thonerde und Talkerde zusammengesetzt fand. Aufserdem durfte ich auf das Vorhandenseyn von Cadmium schliefsen, weil das, nach dem Glühen gelb erscheinende Zinkoxyd, in Salzsäure aufgelöst und mit Schwefelwasserstoffwasser versetzt, kleine gelbbraune Flocken absetzte.

Die Zusammensetzung des Fossils ist nach dieser Analyse wie folgt:

Kieselerde	0,027	Grm.	1,22	Proc.
Thonerde	1,256	-	57,09	-
Talkerde	0,048	-	2,22	-
Eisenoxydul	0,090	-	4,55	-
Zinkoxyd	0,754	-	34,80	-
Spuren von Mangan und Cadmium				
	2,098	Grm.	99,38	Proc.

Die hier dargestellten Analysen sind von der Eke-

berg'schen hauptsächlich durch den Talkerdegehalt verschieden, welcher in so geringer Quantität bei der schwierigen Aufschliefsung von Demselben leicht übersehen werden konnte.

IV. Untersuchungen über den Chromeisenstein.

Bald nachdem Vauquelin das Chrom in dem rothen Bleierze entdeckt hatte, wies er dasselbe auch in dem Chromeisenstein nach, welches Fossil im unkrystallisirten Zustande in Sibirien und Frankreich zu gleicher Zeit aufgefunden worden war.

Seine, auch von Haüy angenommene Ansicht, dafs es eine dreifache Verbindung von Chromsäure, Eisenoxyd und Thonerde sey, galt so lange, bis Laugier durch die Beobachtung, dafs Chromoxyd durch Glühen mit Kali in Chromsäure verwandelt werde, die Gegenwart des ersteren im Chromeisenstein nachgewiesen hatte. Die bald darauf folgenden Analysen von Klaproth, Berthier und Seybert bestätigten die Richtigkeit dieser Ansicht.

Der selten vorkommende in kleinen Octaëdern krystallisirte Chromeisenstein ist gröfstentheils dem Magnete folgsam, und deshalb schwer vom Magneteisenstein zu unterscheiden. Das beste Kennzeichen ist die Unauflösbarkeit in Säuren und das Verhalten vor dem Löthrohr. Die geringste Quantität in Borax oder Phosphorsalz geschmolzen, färbt die Perle schön smaragdgrün. In Pulverform mit Soda geschmolzen, giebt er eine gelbliche, durch Chromsäure gefärbte Schlacke.

Aeltere Zerlegungen des Chromeisensteins.

Die Schwierigkeit, welche sich dem Aufschliefsen auch dieses Fossils entgegensetzt, wurde bei keiner der bisher angestellten Analysen gehoben. Bei allen war es

nöthig, die zu untersuchende Quantität bis zur vollständigen Lösung drei Mal abwechselnd mit Kali zu schmelzen, durch Wasser auszulaugen und den Rückstand mit Salzsäure zu behandeln. Hiedurch zerfiel die Analyse in zwei Theile:

1) Die alkalinische in Wasser gelöste Masse wurde mit Salpetersäure übersättigt und die Thonerde ausgeschieden, dann mittelst salpetersauren Quecksilbers chromsaures Quecksilber niedergeschlagen, und dieses durch Glühen in grünes Chromoxyd verwandelt. — 2) Aus der salzsauren Flüssigkeit wurde das Eisen durch Ammoniak gefällt.

Auf diese Weise bestimmte Vauquelin die Zusammensetzung des Chromeisensteins von Bastide de la Carrade zu:

Eisenoxyd	=34,7	Proc.
Chromsäure	=43,7	-
Thonerde	=20,3	-
Kieselerde	= 2,0	-
	100,7	Proc.

Nach Klaproth **) besteht der von Krieglach in Steyermark aus:

Chromoxyd	55,50	Proc.
Eisenoxyd	33,0	-
Thonerde	6,0	-
Kieselerde	2,0	-
Glühverlust	2,0	-
	98,50	Proc.

Nach Laugier ***) der vom Ural aus:

Ei-

*) *Journ. des Mines, X p.* 521.

**) Beiträge, IV S. III.

***) *Annales du Musée et hist. nat. VI.*

Eisenoxyd	34 Proc.
Chromoxyd	53 -
Thonerde	11 -
Kieselerde	1 -
Spur von Mangan und Verlust	
	100 Proc.

Berthier untersuchte krystallinische Körner des Chromeisensteins von der Insel la Vache, und fand sie zusammengesetzt aus:

Chromoxyd	36,0 Proc.
Eisenoxyd	37,0 -
Thonerde	21,8 -
Kieselerde	5,0 -
	99,8 Proc.

Die Untersuchung des derben Chromeisensteins von Baltimore wurde in neuerer Zeit von Seybert **) folgendermafsen veranstaltet.

Das feingeschlämmte Pulver wurde mit der doppelten Menge salpetersauren Kali's im Silbertiegel eine Stunde hindurch geglüht, und hierauf mit Wasser und Salzsäure ausgezogen. Der Rückstand betrug etwas weniger als die Hälfte der angewandten Quantität, von welcher er abgerechnet und nicht weiter beachtet wurde. Die Chromsäure wurde durch Salzsäure desoxydirt und das Chromoxydul durch Ammoniak gefällt.

Zwei Analysen auf diese Weise angestellt, gaben folgende Resultate:

Kieselerde	2,90	=10,59
Eisenoxyd	35,14	=36,00
Chromoxyd	51,56	=39,51
Thonerde	9,72	=13,00
	99,32	=99,11.

*) *Annales de chimie et de physique, XVII p. 59.*

**) *Tilloch philosophical magazine, LVII p. 265.*

Um mich zu überzeugen, ob die von mir in den vorhergehenden Analysen mit gutem Erfolg angewendete Aufschliefsungsmethode auch für die des Chromeisensteins zweckmäfsig seyn würde, stellte ich zuvor folgende Versuche an.

Erster Versuch. 2 Grm. geglühten Chromoxyduls mit der vierfachen Menge kohlensauren Baryts auf die bekannte Weise gelöst, gaben eine vollkommen geschmolzene braungefärbte, leicht aus dem Tiegel zu nehmende Masse. Nachdem durch Wasser in der Digestionswärme nur wenig zu einer bräunlichen Flüssigkeit gelöst war, wurde der Rückstand mit Salzsäure behandelt, welche denselben, bis auf ein feines, aus braunen, glänzenden Krystallschüppchen bestehendes Pulver, aufnahm. Die Flüssigkeit gekocht und mit Alkohol versetzt, nahm bald eine smaragdgrüne Farbe an.

Zweiter Versuch. Als Zugabe möge hier erwähnt werden, dafs ich durch Schmelzen des kohlensauren Baryts mit Manganhyperoxyd eine krystallinische Masse erhielt, welche in kleinen Drusenräumen deutliche Krystalle in 4seitigen Prismen zeigte. Weder Wasser noch Säuren äufserten einen Einflufs auf diesen Körper, der vielleicht eine dem schwefelsauren Baryt analoges chromsaures (mangansaures? *P.*) Salz darstellte.

Jedenfalls dürfen diese Versuche als Beleg dienen, welche starke Causticität dem kohlensauren Baryt durch das Schmelzen mitgetheilt wird.

1) Analyse des unkrystallisirten Chromeisensteins von Baltimore.

Nachdem die zur Analyse bestimmten Bruchstücke von dem sie gewöhnlich begleitenden röthlichen Talk sorgfältig befreit und im Stahlmörser zum mäfsig feinen Pulver gebracht waren, wurde dasselbe mit Salzsäure ausgezogen und 1,444 Grm. zur Analyse abgewogen. Nach starkem Glühen war die vorher braune Farbe in

das Schwarze übergegangen, ein Gewichtsverlust aber nicht merklich.

Mit dem vierfachen Gewicht an kohlensaurem Baryt vermischt, setzte ich das Pulver jetzt drei Viertelstunden lang der stärksten Hitze aus, worauf die geschmolzene Masse eine braune und krystallinische Oberfläche zeigte, und durch Wasser und Salzsäure in gelinder Wärme allmälig bis auf ein gelbliches Pulver gelöst wurde, welches jedoch einer verstärkten Einwirkung der Salzsäure vollkommen wich. Während des Abdampfens färbte sich die braune Flüssigkeit dunkelgrün.

Der Verlauf der ganzen Analyse war, kurz angegeben, folgender:

a) Nach dem Wiederauflösen der abgedampften Masse blieben 0,012 reiner Kieselerde zurück.

b) Der durch Ammoniak bewirkte Niederschlag liefs nach der Behandlung mit Kalilauge einen Rückstand von 1,19 Grm.

c) 1,076 Grm. dieses fein gepülverten Rückstandes wurden mit dem sechsfachen Gewicht an kohlensaurem Kali eine halbe Stunde lang auf die bekannte Weise stark geglüht, hierauf in Wasser aufgelöst, und der ausgesüfste und 0.574 wiegende Rückstand, da das Löthrohr noch Chrom in ihm zu erkennen gab, zum zweiten Male mit kohlensaurem Kali geschmolzen. Der jetzt, nach der Lösung in Wasser, bleibende Rückstand von 0,36, zeigte sich vollkommen frei von Chrom, und wurde weiter untersucht.

d) Salzsäure nahm ihn bis auf eine unbedeutende Spur von Kieselerde auf, worauf Ammoniak einen aus 0,278 Grm. Eisenoxyd und 0,023 Grm. Thonerde bestehenden Niederschlag bewirkte. Die abfiltrirte Flüssigkeit, nach *c* (S. 312) behandelt, lieferte 0,126 Grm. schwefelsaurer Talkerde, die 0,043 Grm. Magnesia entsprachen.

e) Eine zweite Quantität Magnesia von 0,09 Grm.

gewann ich auf gleiche Weise aus der ammoniakalischen Flüssigkeit in *b*.

Beide Quantitäten des schwefelsauren Salzes lieferten, vereinigt und aufgelöst, ausgezeichnete Krystalle von Bittersalz.

f) Die alkalischen Laugen aus *c* von citrongelber Farbe enthielten die ganze Quantität des Chroms, welches, in grünes Oxyd verwandelt, durch Ammoniak gefällt wurde und 0,675 Grm. wog.

Unter der Voraussetzung, dafs das Eisen als Oxydul in der Verbindung enthalten sey, worüber weiter unten ein Mehreres, ergiebt sich hieraus die Zusammensetzung der angewendeten 1,444 Grm. wie folgt:

Kieselerde	0,012	= 0,83	Proc.
Thonerde	0,191	=13,85	-
Chromoxydul	0,793	=44,91	-
Eisenoxydul	0,274	=18,97	-
Talkerde	0,140	= 9,96	-
	1,400	=98,25.	

Wenn ich den Chromgehalt der Analyse von 0,793 Gramm mehr nach dem Gewichtsverlust berechnete, welchen das Pulver von 1,076 Grm. in *c* durch zweimaliges Schmelzen erlitten, als nach der wirklich in *f* erhaltenen Quantität von 0,675 Grm., so glaube ich hierin um so mehr entschuldigt zu seyn, als ich gegründete Vermuthung hatte, dafs während des starken Glühens etwas Chrom zugleich mit einem Theil kohlensauren Kali durch Verdampfung fortgegangen war, indem der hessische Schmelztiegel, welcher den Platintiegel schützte, inwendig an einer Seite mit einer grünlichen, glasartigen Kruste überzogen war, in welcher das Löthrohr Chrom zu erkennen gab. Da der Platintiegel durchaus verschlossen gewesen, auch eine Decrepitation nicht stattgefunden hatte, so konnte ich mir diesen Verlust nur durch die Annahme erklären, dafs etwas von dem chromsauren Kali auf me-

chanischem Wege mit dem verdampfenden Kali fortgegangen war, um so mehr, da ich mich durch einen besonderen Versuch überzeugte, dafs chromsaures Kali durch die stärkste Schmelzhitze nichts an seinem Gewichte verliert. Als ein Beleg für diese Meinung darf eine ähnliche Beobachtung von Berthier *) gelten, welcher einer bedeutenden Gewichtsverminderung erwähnt, die er nach dem Schmelzen des Chromeisensteins mit gleichen Theilen Glaspulver wahrnahm, und die von ihm dem Entweichen des Chroms zugeschrieben wird.

2) Analyse des krystallisirten Chromeisensteins von Baltimore.

Die mir zu Gebote stehenden Krystalle waren vollkommen ausgebildet, wenn gleich nur von sehr geringer Gröfse. Der kleinere Theil davon war dem Magnete folgsam, jedoch nur vor dem Glühen. Von dem sie begleitenden Magneteisenstein wurden sie in Pulverform durch wiederholtes Digeriren in Salzsäure befreit, und 2,26 Grm. der Analyse übergeben.

Aus der geschmolzenen Masse blieben diesmal 0,192 Gramm eines krystallinischen Pulvers von derselben Beschaffenheit zurück, wie es S. 338 beschrieben worden, und welches, mit der vierfachen Menge kohlensauren Baryts wiederum geschmolzen, durch Salzsäure endlich vollkommen gelöst wurde.

Die der vorhergehenden ganz ähnliche Analyse führte zu folgendem Resultat:

Kieselerde	0,008		
Thonerde	0,266	=11,85	Proc.
Chromoxydul	1,357	=60,04	-
Eisenoxydul	0,455	=20,13	-
Talkerde	0,170	= 7,45	-
	2,256	=99,45	Proc.

*) *Ann. de chim. et de phys. T. XVII. p.* 59.

Die hier mitgetheilten Analysen weichen durch den bedeutenden Talkerdegehalt sehr von den früheren ab.

Da bei diesen jedoch der Eisengehalt im Durchschnitt dem der Magnesia und des Eisens in meinen Analysen zusammengenommen gleich ist, und nirgend eine besondere Untersuchung des ausgeschiedenen Eisenoxyds erwähnt wird, so scheint es mir wahrscheinlich, daſs die Magnesia in den früheren Analysen theils bei dem Eisen geblieben, theils deren Auffindung durch die Unvollkommenheit der Aufschlieſsungsmethode verhindert worden sey.

V. Untersuchungen über den Franklinit.

Dies Mineral wurde zuerst von Berthier unter einer Mehrzahl, gröſstentheils zinkhaltiger Fossilien, die in einem Grauwackengestein zu New-Yersey in Nord-Amerika vorkommen, beobachtet und untersucht.

Dem Magnete sowohl vor als nach dem Glühen folgsam, unterscheidet es sich von dem Magneteisenstein am Besten durch den braunen Strich und das

Verhalten vor dem Löthrohr und zu den Säuren.

Als das einfachste Kennzeichen darf folgendes von mir beobachtete gelten:

Ein kleines Bruchstück, in der Platinzange der stärksten Einwirkung der äuſseren Flamme ausgesetzt, beginnt plötzlich mit weiſsem Glanze zu leuchten, und unter Umhersprühen kleiner Funken auf ähnliche Art wie Eisen in Sauerstoff zu verbrennen. Die Oberfläche erscheint dann dem bewaffneten Auge mit kleinen Bläschen bedeckt.

Auf der Kohle ward es bei anhaltendem Feuer zur schwarzen Schlacke reducirt. Phosphorsalz greift den Franklinit mit schwachem Aufschwellen an, und giebt ein gelblichgraues, leicht milchig werdendes Glas. Borax

löst ihn stärker, und giebt, reichlich angewendet, ein rothes, nach dem Erkalten aber braunes Glas. Soda löst das Pulver nur schwierig. Auf Platinblech erscheint Manganreaction, und auf der Kohle, lange in der inneren Flamme behandelt, setzt die Probe weifsen Zinkrauch ab.

Salzsäure löst den Franklinit in der Wärme vollkommen auf, wobei eine starke Chlorentwicklung stattfindet. Durch Salpeter- und Schwefelsäure wird er nur schwierig angegriffen.

Untersuchung des Franklinits von Berthier *).

Bei dieser Analyse, welche Berthier zugleich mit denen aller übrigen den Franklinit begleitenden Fossilien anstellte, scheint ihm mehr ein technischer Gesichtspunkt, als die Absicht geleitet zu haben, ein genaues Bild der chemischen Natur dieses Fossils zu liefern.

Sein Verfahren war kurz folgendes. Die salzsaure Lösung wurde durch kohlensaures Kali gefällt, und der Niederschlag in concentrirtem Essig aufgelöst.

Bei langsamen Verdampfen schied sich essigsaures Zink und Mangan durch Krystallisation aus, während Eisenoxyd zurückblieb. Um Zink und Mangan zu trennen, wurde durch Glühen mit Kohle das Zinkoxyd desoxydirt und verjagt. Das zurückbleibende Mangan, von der Kohlenasche befreit, wurde gewogen und das Zink aus dem Verlust bestimmt. Durch diese wenig sichere Methode ergab sich die Zusammensetzung wie folgt:

Eisenoxyd	66 Proc.
Manganoxyd	16 -
Zinkoxyd	17 -
	99 Proc.

*) *Ann. des mines, IV. p.* 189.

Neue Analyse des Franklinits.

Nachdem ich ausgezeichnete krystallinische Körner sorgfältig von dem das Fossil gewöhnlich begleitenden Zinkoxyd gereinigt, stellte ich, nach vorhergegangener qualitativer Analyse, welche, aufser Eisen, Mangan und Zink, noch etwas Kieselerde und Spuren von Thon- und Talkerde ergeben hatte, die quantitative Untersuchung auf folgende Weise an:

a) 2,69 Grm. zum feinen Pulver gerieben, hatten nach starkem Glühen unmerklich an Gewicht verloren, ihre Farbe aber in das Violette geändert.

b) Nach dem Auflösen in concentrirter Salzsäure, wobei viel Chlor frei wurde, blieb ein Rückstand an Kieselerde von 0,007 Grm.

c) Ammoniak bewirkte einen Niederschlag, welcher eine Viertelstunde hindurch in Kalilauge anhaltend gekocht wurde. Die alkalische Flüssigkeit wurde bis zur Sättigung mit Schwefelwasserstoffwasser versetzt, das gewonnene Schwefelzink in schwefelsaures verwandelt, und daraus das Zinkoxyd auf die S. 333 angegebene Weise bestimmt. Aus der durchgegangenen Flüssigkeit wurden noch 0,020 Grm. Thonerde geschieden.

d) Der Niederschlag *c* wog getrocknet und stark geglüht 2,321 Grm. Wieder in Salzsäure gelöst, blieben 0,004 Grm. Kieselerde zurück. Durch bernsteinsaures Ammoniak erhielt ich 1,853 Grm. Eisenoxyd.

e) Das noch in der Flüssigkeit vorhandene Mangan bestimmte ich als schwefelsaures Salz, welches 1,044 Grm. wog, und einer Quantität von 0,42 Grm. Oxydul entsprach.

f) Aus der ammoniakalischen Flüssigkeit in *c* erhielt ich durch Abdampfen noch 0,05 Grm. schwefelsaures Manganoxydul mit Spuren von Talkerde.

Nach diesen Angaben würde sich die Zusammensetzung wie folgt ergeben:

Kieselerde	=0,011 Grm.	0,40 Proc.
Thonerde	=0,020 -	0,73 -
Eisenoxyd	=1,853 -	68,88 -
Manganoxydul	=0,440 -	16,32 -
Zinkoxyd	=0,291 -	10,81 -
	=2,625 Grm.	97,14 Proc.

Da jedoch die Zerlegung der Salzsäure beim Auflösen des Franklinits hinreichend beweist, dafs das Mangan als Oxyd anzunehmen ist, so sind die in *e* und *f* gewonnenen Quantitäten von 0,44 Grm. in 0,489 Grm. Oxyd zu verwandeln.

Eben so scheint es mir gewifs, dafs das Eisen als Magneteisenstein im Franklinit anzunehmen sey, worüber weiter unten ein Mehreres. Hundert Theile Magneteisenstein verhalten sich aber zu 69 Proc. Eisenoxyd wie 68,88 zu 47,52, weshalb für das Eisen in der Analyse 47,52 Eisenoxyd und 21,34 Eisenoxydul zu substituiren sind.

Hiernach verändert, fällt die Zusammensetzung also aus:

Kieselerde	=0,011=	0,40 Proc.
Thonerde	=0,020=	0,73 -
Magneteisenstein	=1,853=	{47,52 Eisenoxyd 21,34 Eisenoxydul
Manganoxyd mit Spuren Magnesia	=0,489=	18,17 Proc.
Zinkoxyd mit Spuren von Cadmium	=0,291=	10,81 -
	=2,664=	99,00 Proc.

Ehe ich, nach beendigter Beschreibung der von mir angestellten Analysen, meiner Absicht gemäfs, zur Vergleichung der Resultate in Bezug auf das Mischungsgesetz übergehe, glaube ich hinsichtlich des Magneteisen-

steins, in sofern er in dem Kreise meiner Vergleichungen später einen Platz einnehmen wird, folgendes vorausschicken zu müssen.

Nachdem die Untersuchungen von Berzelius über das Eisenoxydoxydul die Annahme von Gay-Lussac, welcher dasselbe für eine besondere dritte Oxydationsstufe hielt, widerlegt und gezeigt hatten, daſs eine bestimmte chemische Verbindung zweier verschiedener Oxydationsstufen ein und desselben Metalls in ihm sehr wohl bestehen könne, wurde die Natur des Magneteisensteins zuerst richtig erkannt, und das für denselben geltende Mischungsgesetz auf folgende Weise auſser allen Zweifel gesetzt.

Analyse des Magneteisensteins von Berzelius *).

Reiner Magneteisenstein, von Norra in Schweden, durch Schlämmen von seinen erdigen Einmischungen befreit und im Achatmörser auf das Feinste gepülvert, wurde in Wasser geschüttet, und hierin in beständiger Bewegung erhalten, mittelst eines Magneten ausgezogen. 5 Grm. eines Pulvers, das durch dieſs zwei bis drei Mal wiederholte Verfahren gewonnen war, wurden hierauf in concentrirter Salzsäure gelöst, und dann eine Stunde hindurch mit Salpetersäure gekocht. Nachdem ein quarziger Rückstand von 0,121 Grm. abgezogen war, brachte Ammoniak einen nicht im allergeringsten vom Magnete anziehbaren Niederschlag zu Wege.

Die ammoniakalische Flüssigkeit mit Kali im Uebermaſs gekocht, wurde nicht verändert, so wie das Eisen durchaus frei von Mangan befunden.

Nach Abzug des quarzigen Rückstandes von 0,121 Gramm blieben für das reine Mineral 4,879 Grm., welches, um reines Oxyd darzustellen, also 0,181 Grm. Sauerstoff angezogen haben muſste. Jene 5,061 Grm. Eisenoxyd enthalten aber 3,506 Grm. metallisches Eisen, und

*) Schweigg. Journ. XV S. 290.

hiernach berechnet, ergiebt sich die Zusammensetzung des untersuchten Minerals zu:

Eisen	71,86 Proc.	100 Th.
Sauerstoff	28,14 -	39 -

Da die Vergleichung dieses Sauerstoffgehalts mit dem des Oxyds und Oxyduls kein rationales Verhältniſs zuläſst, so muſs das Mineral natürlich als eine bestimmte Verbindung beider Oxydationsstufen angenommen werden. Durch Hülfe der Rechnung findet sich für diese Verbindung kein anderes Verhältniſs, als das, wo der Sauerstoff des Oxyduls sich zu dem des Oxyds verhält wie 1 : 3. Die einer solchen Annahme entsprechenden Zahlen sind:

Eisen	71,8 . . .	100
Sauerstoff	28,2 . . .	39,29.

Die Uebereinstimmung dieses hypothetisch angenommenen Verhältnisses mit dem durch die Analyse gefundenen ist klar, und deshalb besteht der untersuchte Magneteisenstein aus:

Eisenoxyd	69
Eisenoxydul	31
	100.

Eine zweite, auf gleiche Weise angestellte Analyse des Magneteisensteins von Ryddarhytta gab dasselbe Resultat *).

*) Neuerlich hat Hr. Prof. v. Kobell den Magneteisenstein einer abermaligen Analyse unterworfen, und dabei ein etwas anderes Resultat erhalten. Schöne Krystalle vom Schwarzenstein im Zillerthale gaben ihm nämlich in drei Versuchen folgende Verhältnisse von:

Eisenoxyd	74,08	75,52	75,27
Eisenoxydul	25,92	24,48	24,73

Hienach würde der Magneteisenstein statt der Formel $\dot{Fe}\dddot{Fe}$ die $\dot{Fe}^3\dddot{Fe}^4$ bekommen, und die Sauerstoffmenge des Oxyduls zu der des Oxyds also nicht im Verhältniſs 1 : 3, sondern in dem 1 : 4 stehen. Ungeachtet der Sauerstoffgehalt des Magnet-

Unter so bewandten Umständen würde ich, selbst in dem Fall, dafs eine weitere Ausdehnung meiner Ar-

eisensteins, der nach Berzelius 39,29 Procent beträgt, hiedurch nur auf 40,2 Procent erhöht wird, ist Hr. v. K. dennoch gewifs, seine Analyse für die richtigere zu halten, theils wegen Reinheit der angewandten Krystalle, theils wegen der Sicherheit der befolgten Scheidungsmethode. Es wurde nämlich das Mineral bei möglichster Abhaltung der äufseren Luft in Salzsäure gelöst, und aus dieser Lösung das Eisenoxyd durch *kohlensauren Kalk* gefällt.

Dieser letztere besitzt nämlich, nach einer von Hrn. Prof. Fuchs gemachten Erfahrung, die Eigenschaft, nur das Eisenoxyd, und nicht das Eisenoxydul, aus seinen Lösungen in Säuren zu fällen, wonach sich dann der Gang der Analyse leicht einsehen läfst. Gleich dem *Eisenoxyd* fällt der kohlensaure Kalk auch mehrere andere dreiatomige Basen, namentlich: *Thonerde*, *Uran-*, *Manganoxyd* und *Chromoxydul*, vollständig aus ihrem Auflösungsmittel, dagegen aber nicht die einatomigen: *Nickel-*, *Kobalt-* und *Zinkoxyd*, *Eisenoxydul*, *Manganoxydul*, u. s. w., welche sich auf diese Weise von ersteren trennen lassen. Kupferoxyd wird zwar auch gefällt, aber, wenigstens aus der Auflösung in Salzsäure, nicht rein, sondern als basisches Salz. Eben so ist die Methode nicht anwendbar, wenn Arseniksäure, und vermuthlich auch wenn Phosphorsäure oder einige andere Säuren, in der Lösung sind, da diese theils mit dem Kalk, theils mit den Oxyden gänzlich niederfallen. Dagegen gelingt die Scheidung des *Eisenoxyds* vom *Manganoxydul* durch kohlensauren Kalk sehr gut.

Eben so vollständig wie durch kohlensauren Kalk wird das Eisenoxyd auch durch die Carbonate vom *Baryt*, *Bittererde*, *Kupferoxyd*, *Zinkoxyd*, *Manganoxydul* u. s. w. gefällt. Diefs giebt ein leichtes Mittel, eine Manganlösung vom Eisen, wenn es nur vollkommen oxydirt ist, gänzlich zu befreien, indem man nämlich zuerst einen Theil mit kohlensaurem Kali fällt, und nun den ausgesüfsten Niederschlag in den andern trägt, der dadurch seinen Gehalt an Eisenoxyd gänzlich verliert. (Schweigger's Journal, LXII S. 184, 195.)

Liebig, auf dessen Rath schon seit mehreren Jahren in der Bittersalzfabrik zu Salzhausen das durch Destillation in eisernen Cylindern erhaltene, also sehr eisenhaltige Bittersalz, von seinem Eisengehalt durch Kochen mit Bittererde oder kohlensaurem Kalk vollständig befreit wird, hat das Fuchs'sche Schei-

heit mir möglich gewesen, es für überflüssig gehalten haben, diesem Gegenstande neue Untersuchungen zu widmen.

Um für die jetzt anzustellende Vergleichung der erhaltenen Resultate den Ueberblick derselben zu erleichtern, ist die Tabelle beigefügt, welche das Verhältniſs der zusammensetzenden Bestandtheile und ihren jedesmaligen Sauerstoffgehalt enthält.

Betrachten wir zuerst die verschiedenen Elemente, aus welchen jene Körper zusammengesetzt sind, so zeigen sich uns zwei isomorphe Reihen, wovon die erste

Thonerde, *Chromoxydul*, *Eisenoxyd* und *Manganoxyd*,

die zweite aber

Talkerde, *Eisenoxydul* und *Zinkoxyd*

enthält.

Diese Elemente finden sich in den untersuchten Fossilien auf eine solche Weise unter einander verbunden,

demittel geprüft, und dasselbe im Allgemeinen vollkommen bewährt gefunden. Zur Trennung des Eisenoxyds vom Eisenoxydul, behufs einer genauen quantitativen Bestimmung dieser beiden Substanzen, ist jedoch nach ihm die Magnesia alba dem kohlensauren Kalk vorzuziehen, weil bei Anwendung dieses die Flüssigkeit, welche von dem als basisches Salz gefällten Eisenoxyd abfiltrirt worden ist, ihrer vollkommnen Neutralität wegen, und weil während der Operation ein kleiner Theil des Oxyduls in Oxyd übergeht, sich schwach trübt. Bei Anwendung der Magnesia alba wird dieser Unannehmlichkeit zum groſsen Theil vorgebeugt; die Flüssigkeit trübt sich nicht, wahrscheinlich weil die Bittererde mit dem Eisenoxydul constante Doppelsalze bildet.

Zur Scheidung des Kobalt- und Nickeloxyds vom Eisenoxyd läſst sich indeſs die Magnesia alba, weil sie, wie der kohlensaure Baryt, die Salze aller drei Oxyde gleich vollständig zersetzt, nicht anwenden, wohl aber mit Vortheil der kohlensaure Kalk, der auch, kalt in eine Lösung von *salpetersaurem Bleioxyd* getragen, dieselbe vollkommen von allem etwa beigemischten *Wismuthoxyd* befreit. (Mag. f. Pharmac. XXXV S. 111.)

P.

dafs bei dem Vorherrschen des einen oder andern die übrigen der entsprechenden Reihe entweder gänzlich fehlen, oder nur zum Theil vorhanden sind, jedoch so, dafs sie bei etwanigem gegenseitigen Austausch bisweilen einen allmäligen auf- oder absteigenden Uebergang bilden. In dieser Beziehung zeigen die Thonerde und das Chromoxydul der ersten Reihe, und die Talkerde nebst dem Eisenoxydul der zweiten den auffallendsten Zusammenhang. Die Thonerde, welche beinahe in keiner der untersuchten Verbindungen fehlt, weicht in No. 9 und No. 10 dem Chromoxydul, und wird in No. 12 vollkommen durch das Eisenoxyd ersetzt. Die Talkerde dagegen, bei nur geringem Vorherrschen des Eisenoxyduls, in No. 2 vorherrschend, nimmt successive ab in No. 1, 5, 4, 3, 9, 10, 7, 8, während das Eisenoxydul in gleichem Verhältnisse steigt. Beim Auftreten des Zinks in No. 7, 8 und 11 nehmen Talkerde und Eisenoxydul auf gleiche Weise ab.

Diese einfache Vergleichung zeigt schon deutlich, dafs jene aus analogen Elementen zusammengesetzten Fossilien durch ein enges Verwandtschaftsband verknüpft sind. Als Glieder einer zusammengehörigen Reihe betrachtet, erscheinen Spinell und Magneteisenstein als die einfachsten, Franklinit und Chromeisenstein als die zusammengesetztesten, und Pleonast und Gahnit gleichsam als Mittelglieder.

Wenden wir uns nach dieser vorläufigen Betrachtung zu dem Sauerstoffverhältnifs der gesonderten Bestandtheile, und vergleichen in einem jeden Fossil die Summe des Sauerstoffs aller Elemente der ersten Reihe mit dem der zweiten Reihe, so zeigt sich für alle ein und dasselbe, durch das Verhältnifs von 3 : 1 auszudrückende, Mischungsgesetz.

Im Spinell erscheint dasselbe am einfachsten ausgedrückt, und mit Recht kann man ihn deshalb als den Grundtypus der ganzen Reihe betrachten. Was die Pleo-

naste betrifft, so zeigt die deutliche Analogie derselben, sowohl mit dem Spinell als unter sich, dafs das in ihnen enthaltene Eisen für reines Oxydul anzunehmen ist, indem auch unter dieser Bedingung das Verhältnifs von 3 : 1 sich am reinsten darstellt. In Bezug auf den Pleonast von der Iserwiese scheint es aus ähnlichen Gründen dagegen wahrscheinlich, dafs ihm neben dem Eisenoxydul etwas Oxyd beigemengt ist, womit die Verschiedenheit seiner physischen Natur von der der Spinelle und übrigen Pleonaste vielleicht in Verbindung steht. Im Gahnit dagegen ist, wie im Pleonast, das Eisen wiederum als Oxydul zu betrachten, welche Annahme auch bei dem Chromeisenstein durch seine genugsam erkannte Natur und Analogie mit dem Magneteisenstein ebenfalls hinlänglich gerechtfertigt ist. Eben so darf es der Analogie erlaubt seyn, das Eisen im Franklinit, der vom Gahnit zum Magneteisenstein gleichsam einen Uebergang bildet, für Magneteisenstein anzunehmen, um so mehr, da das im Fossil enthaltene Manganoxyd eine directe Bestimmung des Eisenoxyduls und Eisenoxyds nicht wohl möglich macht.

Der Magneteisenstein, bei dem sich das Mischungsgesetz gleich einfach wie bei dem Spinell ausspricht, beschliefst gleichsam die ganze Reihe.

Was die Kieselerde betrifft, deren in dieser Betrachtung noch keine Erwähnung geschehen ist, so scheint sie für die Zusammensetzung der untersuchten Körper durchaus unwesentlich zu seyn, so wie sie dann im Chromeisenstein, Franklinit und Magneteisenstein gänzlich verschwindet. Für die Ansicht, welche sie als Verunreinigung betrachtet und ihren Ursprung von den Fossilen hernimmt, in deren Begleitung die Spinelle vorzukommen pflegen, sprechen die meisten Gründe.

Bedenkt man, dafs sowohl der rothe als der blaue Spinell auf ähnlichen Lagerstätten, meistentheils in inniger Verbindung mit einem gelben Glimmer vorkommen,

so erscheint es sehr wahrscheinlich, dafs die Kieselerde aus dem letzteren vielleicht als Silicat der Thonerde in den Spinell übergegangen; eine Vermuthung, die auch bei den Pleonasten Anwendung findet, welche ebenfalls gern mit Glimmer verbunden vorkommen. Beim Gahnit No. 7 dagegen rührt die Kieselerde am wahrscheinlichsten von dem auf das Innigste mit ihm verwachsenen Talkschiefer her, welcher Ansicht die gleichmäfsige Abnahme der Talk- und Kieselerde im amerikanischen Gahnit, der einer anderen Lagerstätte angehört, sehr wohl zu entsprechen scheint.

Wenden wir uns jetzt schliefslich zur Bestimmung der chemischen Formeln für die einzelnen Glieder der durch $\dot{R}\dddot{R}$ allgemein auszudrückenden Reihe, so erscheinen folgende als die allein passenden:

1) Für den Spinell	$\dot{Mg}+\dddot{Al}$
2) Für den Pleonast	$\left.\begin{matrix}\dot{Mg}\\ \dot{Fe}\end{matrix}\right\}+\dddot{Al}$
3) Für den Gahnit	$\left.\begin{matrix}\dot{Mg}\\ \dot{Zn}\end{matrix}\right\}+\dddot{Al}$
4) Für den Chromeisenstein	$\left.\begin{matrix}\dot{Mg}\\ \dot{Fe}\end{matrix}\right\}+\left\{\begin{matrix}\dddot{Al}\\ \dot{Cr}\end{matrix}\right.$
5) Für den Franklinit	$\left.\begin{matrix}\dot{Fe}\\ \dot{Zn}\end{matrix}\right\}+\left\{\begin{matrix}\dddot{Fe}\\ \dddot{Mn}\end{matrix}\right.$
6) Für den Magneteisenstein	$\dot{Fe}+\dddot{Fe}$.

Zusätze.

Die starke Verwandtschaftskraft, welche das Thonerdehydrat auf die zugleich mit ihm aus *einer* Auflösung gefällten Oxyde des Zinks und der Talkerde ausübt, erklärt bei den oben beschriebenen Analysen die Erscheinung

Isom	4. nast onzoni.	5. Pleonast von dem Vesuv.		6. Pleonast von der Iserwiese.	
	Sauerstoff.	Procente.	Sauerstoff.	Procente.	Sauerstoff.
Kiese	0,61	2,38	1,19	1,79	0,90
Thon	31,28	67,46	31,59	59,66	27,86
Chro				0,73	0,21
Talke	9,14	25,94	10,0	17,7	6,91
Eisen	1,83	5,06	1,15	19,29	4,39
Mang				Spur	
Summ	42,86	100,84	43,93	99,16	40,27
Sauer	28=1:3	11,15:31,59=1:3		11,30:28,07=1:3	

Isom	0. isenstein llisirt.	11. Magneteisenstein.		12. Franklinit.	
	Sauerstoff.	Procente.	Sauerstoff.	Procente.	Sauerstoff.
Kiesel		0,40	0,20	Spur	
Thon	5,43	0,73	0,30		
Chro	17,94	Magneteisenstein 68,88			
Talke	2,88	Eisenoxyd 47,52	14,56	Spur	
Eisen	4,58	Eisenoxydl. 21,34	4,86	Eisenoxyd 69	21,15
Zinko		10,81	2,14	Eisenoxydl. 31	7,05
Mang		Manganoxyd 18,17	5,83		
Summ	30,71	99,00	37,44	100	28,20
Sauer	,37=1:3	7,00:20,24=1:3		7,05:21,15=1:3	

nung, daſs die durch Ammoniak gefällte Thonerde fast niemals vollständig in Kalilauge wieder aufgelöst wurde, und zeigt deshalb, daſs eine Regeneration des Spinells dort stattfindet, welche für die Analyse von nicht geringen Schwierigkeiten begleitet ist. Um mir von den Bedingungen zu dieser Regeneration vollständige Kenntniſs zu verschaffen, und vielleicht auf diesem Wege eine künstliche Nachbildung irgend eines der untersuchten Körper zu erreichen, stellte ich die folgenden Versuche an.

1) Schwefelsaures Eisenoxyd-Ammoniak und Eisenvitriol wurden in einem solchen Verhältniſs mit einander gemischt, daſs der Sauerstoff des Eisenoxyds zu dem des Eisenoxyduls sich verhielt wie 3 : 1.

In der wäſsrigen Lösung brachte Ammoniak einen schwachen, wenig voluminösen Niederschlag hervor, der sich bald zu Boden senkte. Der so gewonnene Körper zeigte sich dem Magneteisenstein vollkommen analog, indem er dieselben Eigenschaften hatte, welche Wöhler von dem Niederschlage beschreibt, den er durch Behandlung einer salzsauren Auflösung des Magneteisensteins durch Ammoniak erhielt *).

Der Niederschlag auf das Filtrum gebracht und vorsichtig getrocknet, war sowohl seiner äuſseren Beschaffenheit als seiner magnetischen Kraft nach dergestalt dem feingepülverten Magneteisenstein ähnlich, daſs beide kaum von einander unterschieden werden konnten.

Durch geringes Glühen verschwand jedoch die magnetische Kraft augenblicklich, und das Pulver verhielt sich alsdann ganz wie Eisenoxyd.

2) Um mich zu überzeugen, daſs die so dargestellte Verbindung von Oxydoxydul auch wirklich dem Verhältniſs von 3 : 1 entspräche, vermischte ich die oben erwähnten Salze in dem Sauerstoffverhältniſs von 3 : 2. Durch Ammoniak erhielt ich jetzt dieselbe, aber durch Eisenoxydul verunreinigte Verbindung, denn der anfangs

*) Diese Annal. Bd. XXI (97) S. 582.

schwarze Niederschlag bedeckte sich allmälig mit einer Lage von rothem Eisenoxyd, welches sich aus der gelblich gefärbten Flüssigkeit durch Oxydation noch fortwährend absetzte.

Die untere Lage war allein dem Magnete folgsam; auf das Filtrum gebracht, erschien der ganze Niederschlag dunkelbraun, verhielt sich aber zum Magnet ganz so wie der frühere.

3) Eine Mischung nach dem Sauerstoffverhältnifs des Oxyds zum Oxydul wie 4 : 1 gab, mit Ammoniak gefällt, dasselbe magnetische Pulver, jedoch durch Eisenoxyd verunreinigt. Wurde das erste durch einen in die Flüssigkeit getauchten Magnet gesammelt, so blieb gröfstentheils nur Eisenoxyd zurück. An magnetischer Kraft war das getrocknete Pulver jedoch nicht im Geringsten schwächer als das der vorhergehenden Versuche.

Noch einige Mal wiederholte, mit verschiedenen Quantitäten angestellte Versuche derselben Art, gaben das magnetische Pulver stets um so reiner und unvermischter, je mehr in der Mischung das Sauerstoffverhältnifs von 3 : 1 beachtet worden war, und mithin erscheint hiernach die Annahme vollständig begründet:

a) Dafs der Magneteisenstein nur nach dem Sauerstoffverhältnifs des Oxyds zum Oxydul wie 3 : 1 zusammengesetzt sey.

b) Dafs das auf die beschriebene Art erzeugte magnetische Eisen, wenn gleich durch Eisenoxyd verunreinigt, dennoch der ganzen Masse die magnetische Fähigkeit mittheile.

c) Dafs, wo die chemische Analyse in einem Oxyd-Oxydul enthaltenden Mineral ein anderes Verhältnifs der beiden Oxydationsstufen angiebt, die Sache, wenn die Gesetze der Isomorphie nicht etwa zu einer andern Annahme nöthigen, sich auch wohl so verhalten könne, dafs der, jenes Verhältnifs übersteigende Antheil von Oxyd in keiner weiteren Beziehung zu dem Oxydoxydul, son-

dern für sich als ein besonderes Element der Zusammensetzung zu betrachten sey.

Nach diesen in Bezug auf den Magneteisenstein angestellten Versuchen schritt ich zu ähnlichen über den Spinell.

Um zu erfahren, ob die Thonerde mit der Talkerde eine dem Eisenoxydoxydul analoge Verbindung eingehe, wenn sie zusammen aus einer Flüssigkeit gefällt werden, nahm ich eine Quantität Alaun und schwefelsaurer Magnesia in dem Sauerstoffverhältnifs der Thonerde zur Talkerde wie 3 : 1, und löste beide Mengen in Wasser auf. Hierauf wurde der schwefelsauren Talkerde so viel Salmiak zugefügt, dafs sie durch Ammoniak nicht getrübt wurde. Mit der Alaunauflösung gemischt und durch Ammoniak gefällt, zeigte die abfiltrirte Flüssigkeit kaum eine Spur von Talkerde an; es war dieselbe also offenbar aus Verwandtschaft zur Thonerde mit gefällt worden.

Umstände hinderten mich, diesen angedeuteten Versuchen einen höheren Grad von Genauigkeit zu geben, und für den Augenblick einen Weg weiter zu verfolgen, auf welchem sich vielleicht noch einiges Interessante ergeben dürfte.

(Berichtigung. In der Formel für den Chromeisenstein, S. 352, lies $\dddot{Cr}$ statt $\dot{Cr}$)

II. *Chemische Untersuchung des Antophyllits; von L. Vopelius in Sulzbach bei Saarbrück.*

Hr. Professor John hat zuerst den Antophyllit untersucht *), und darin gefunden:

*) Gehlen's Journal für Chemie und Physik, Bd. II. S. 496. — John's chemische Untersuchungen. Bd. I. S. 200.

Kieselerde	56
Thonerde	13,30
Talkerde	14
Eisenoxyd	6
Manganoxyd	3
Wasser	1,43
Kalkerde	3,33
	97,06.

Da für diese Zusammensetzung keine einfache mineralogische Formel aufzufinden war, so wurde ich dadurch veranlafst, dieses Fossil nochmals zu untersuchen.

Den zur Untersuchung angewandten Antophyllit verdankte ich Hrn. Prof. Gustav Rose, welcher denselben von Kienrud Schurf, bei Kongsberg, mitgebracht hatte. Es war eine strahlig durch einander laufende Masse mit krystallinischem Gefüge, durchscheinend, und von einer Farbe zwischen Gelbgrau und Nelkenbraun. Er zeigte gepülvert und auf der Kapelle stark getrocknet, beim Glühen über der Weingeistlampe, keinen Gewichtsverlust. Allein durch anhaltendes Weifsglühen verlor er nach verschiedenen Versuchen 1,63, 1,65 und 1,67 Proc. Durch Glühen in einer Porcellan-Retorte erhielt ich in der Vorlage ein Destillat, das sich gegen Pigmente neutral verhielt, und überhaupt alle Eigenschaften des reinen Wassers zeigte. Bei dem Glühen ging die Durchscheinenheit, so wie der Glanz und die braune Farbe des Minerals verloren; es wurde perlgrau.

Das geschlämmte, über der Weingeistlampe geglühte Pulver ward mit der vierfachen Menge kohlensauren Kali's gemengt, im Platintiegel eine halbe Stunde lang geglüht, die Masse dann mit verdünnter Salzsäure behandelt und bis zur Trockne abgedampft; hierauf mit etwas concentrirter Salzsäure betröpfelt, mit Wasser übergossen und die Kieselerde durch's Filtrum abgeschieden. Die durchgelaufene Flüssigkeit wurde mit ätzendem Am-

moniak versetzt, jedoch ein Ueberschufs vermieden. Der entstandene Niederschlag wurde mit kaustischer Kalilauge gekocht, das Ungelöste abfiltrirt, die Flüssigkeit mit Salzsäure sauer gemacht und nun mit kohlensaurem Ammoniak im Ueberschufs versetzt; es fiel aber keine Spur von Thonerde nieder. Der vom Kali nicht gelöste Rückstand wurde mit Salzsäure behandelt, die Auflösung sorgfältig mit Ammoniak neutralisirt und das Eisenoxyd daraus mit bernsteinsaurem Ammoniak gefällt. Die vom Eisen getrennte Flüssigkeit, die etwas Talk und Mangan enthielt, ward der magnesiahaltigen Flüssigkeit, die ich nach Absonderung des mit Aetzammoniak erhaltenen Niederschlags bekam, beigefügt; ich hatte dieselbe vorher mit Wasser verdünnt und mit oxalsaurem Ammoniak zu fällen versucht, aber keinen Niederschlag von Kalk erhalten. Ich versetzte sie nun mit einem Ueberschufs von kohlensaurem Kali, so dafs alle Ammoniaksalze zersetzt wurden und dampfte das Ganze zur Trockne ab. Die so erhaltene Magnesia ward stark geglüht und gewogen, in verdünnter Salzsäure aufgelöst, mit Ammoniak neutralisirt und das Mangan durch Hydrothion-Ammoniak gefällt. Dieses, weil der Gehalt nur sehr gering war, wurde nicht wieder aufgelöst, sondern nur scharf geglüht.

Das Ergebnifs der Analyse war:

Kieselerde	56,74	Sauerstoff 28,54
Eisenoxydul	13,94	3,17
Talkerde	24,35	9,43
Manganoxydul	2,38	0,52
Wasser	1,67	1,48
	99,08.	

Die Sauerstoffmenge des Eisenoxyduls verhält sich zu der der Talkerde wie 1 : 3, und zu der der Kieselerde wie 1 : 9. Wenn man also Mangan und Wasser als unwesentlich betrachtet, wäre die Formel für den Antophyllit:

$$\dot{Fe}\dot{\dot{\dot{Si}}} + \dot{Mg}^3 \dot{\dot{\dot{Si}}}^2.$$

Die grofse Verschiedenheit meiner Analyse von der des Hrn. Prof. John kann ich nicht erklären.

Zusatz.

Vorstehende Analyse des *Antophyllits* von Kongsberg ist von Hrn. Vopelius in dem Laboratorium des Hrn. Prof. Mitscherlich schon vor mehreren Jahren angestellt, und durch einen Zufall als Manuskript bis jetzt liegen geblieben. Seitdem haben wir eine neuere Analyse des Antophyllits von Leop. Gmelin erhalten, die im wesentlichen ganz mit der von Vopelius übereinstimmt; da sie indefs nur vorläufig in Leonhard's Handbuch der Oryktognosie in runden Zahlen angegeben *), und mir nicht bekannt ist, dafs seitdem sie vollständig erschienen wäre, so schien es nicht uninteressant, die Analyse von Hrn. Vopelius auch jetzt noch mitzutheilen.

Nach diesen Untersuchungen kommt der Antophyllit in seiner chemischen Zusammensetzung ganz mit der Hornblende überein. Die Formel, die Vopelius für ihn aufstellt, ist dieselbe, die Bonsdorf für die weifse Hornblende oder den Tremolit von Gulsjö angegeben hat, nur dafs dieser ein Atom Kalk, jener, statt dessen ein Atom Eisenoxydul enthält. Auf eine gleiche Weise stimmen die Krystallformen beider Substanzen überein. Die Krystalle beider sind geschobene 4seitige Prismen, die sich parallel der Seitenflächen und den Abstumpfungen der scharfen und stumpfen Seitenkanten spalten lassen. Bei der Hornblende beträgt der Winkel in der stumpfen Seitenkante 124° $\frac{1}{2}$, Brooke giebt diesen Winkel zu 125°, Köhler zu 124°, und ich habe ihn meistens wie bei der Hornblende zu 124° $\frac{1}{4}$ gefunden. Mit Genauig-

*) Nämlich: Kieselerde 56, Talkerde 23, Thonerde 3, Kalk 2, Manganoxydul 4, Eisenoxydul 13.

keit läfst sich dieser Winkel nicht messen, da die Spaltungsflächen oder Krystallflächen nicht hinreichend eben sind, und diefs ist in Rücksicht der Structur der Hauptunterschied zwischen Antophyllit und Hornblende. Die Spaltungsflächen nach den Seitenflächen des geschobenen 4seitigen Prisma's sind bei dem Antophyllit unvollkommner, dagegen die parallel der Abstumpfung der scharfen Seitenkante vollkommener als bei der Hornblende. Brooke hält beim Antophyllit die parallel der Abstumpfung der stumpfen Seitenkante für die vollkommensten; wo ich diese Flächen deutlich gesehen habe, waren sie immer Zusammensetzungs- und keine Spaltungsflächen.

Der Antophyllit ist also hiernach nichts anderes als eine Hornblende, die sich, in Rücksicht der chemischen Zusammensetzung, dadurch auszeichnet, dafs sie nach Vopelius gar keine, nach L. Gmelin nur wenig Kalkerde, und statt dessen Eisenoxydul enthält, in Rücksicht der Structur dadurch, dafs die Spaltungsflächen, die sich unter Winkeln von 124° ½ schneiden, unvollkommener, die, welche parallel den Abstumpfungen der scharfen Seitenkanten gehen, vollkommener sind als bei den gewöhnlichen Abänderungen der Hornblende. Der Antophyllit verhält sich also zu diesen, wie der Hypersthen zu den gewöhnlichen Abänderungen des Augits, sowohl in Rücksicht seiner chemischen Zusammensetzung, als auch in Rücksicht seiner Structur, wodurch die Uebereinstimmung, die zwischen Hornblende und Augit stattfindet, und worauf ich in einer früheren Abhandlung aufmerksam machte *), nur um so gröfser wird.

Gustav Rose.

*) S. den vorhergehenden Band dieser Annalen, S. 321.

III. *Ueber den Mengit, eine neue Mineralspecies, den Aeschynit und den Sarcolith, nebst anderen mineralogischen Notizen;*
von H. J. Brooke.

(*Philosoph. Magaz. and Annals, Vol. X. p.* 187.)

Ilmenit.

Unter diesem Namen soll in Kastner's Archiv, Jahrg. 1827, Heft 1, von Prof. Kupffer ein Mineral beschrieben worden seyn, das, von Hrn. Menge entdeckt, am Ilmensee in Sibirien vorkommt, hin und wieder begleitet von einem in Rhomboëdern krystallisirten Titaneisen, von dem Hrn. Levy in den *Phil. Magaz. and Annals, N. S. Vol. I. p.* 26 eine Abbildung und Beschreibung, jedoch ohne Messungen, gegeben hat.

Wahrscheinlich, weil er nur das Titaneisen sah, hat Prof. G. Rose geschlossen, diefs sey der Ilmenit von Kupffer. Indefs ist der Ilmenit eine besondere Substanz, deren Grundform ein gerades rhombisches Prisma von 136° 30′ ist, dessen End- und Seitenkanten sich nahe wie 17 : 11 verhalten. Die Farbe desselben ist schwärzer als die der Rhomboëder des Titaneisens, und die Oberfläche einiger Krystalle ist glatt und glänzend. Spaltbarkeit habe ich nicht bemerkt, der Bruch ist uneben, in's Muschlige neigend, mit Glasglanz. Specif. Gewicht 5,43. Ritzt Glas ein wenig. Sein Muttergestein ist Cleavelandit.

Die von mir untersuchten Krystalle sind klein, nach der Axe des Prisma's in die Länge gezogen, und mit den in Fig. 3 Taf. IV abgebildeten secundären Flächen versehen. Die Winkel sind:

M : M'	= 136° 20'	h : e	= 104° 44'
M : e	= 133 10	e : e'	= 150 32
M : i	= 151 36	e : e''	= 101 10
M : h	= 111 50		

Titaneisen.

Sein specifisches Gewicht ist 4,74, seine Härte geringer als die des Eisenglanzes. Seine Winkel sind, nach Levy, verglichen mit denen des axotomen Eisenerzes nach Haidinger, folgende:

		Eisenglanz.	Axot. Eisen.
$p : a_1$	= 122° 26'		
$p : p$	< 85 36	86° 10'	85° 59'

Levy's e_3 kommt an den von mir gesehenen Krystallen nicht vor; allein ich finde die Flächen eines stumpfen Rhomboëders, entstanden aus dem Abstumpfen der Kanten des Hauptrhomboëders, und diese, wenn man sie b_1 nennt, geben folgende Messungen:

$a_1 : b_1 = 141° 26'$; $b_1 : b'_1 = 114° 38'$

Aeschynit.

Diefs Mineral, in Sibirien von Hrn. Menge entdeckt, und von ihm anfänglich für Gadolinit gehalten, ist von Hrn. Hartwall*) analysirt und von Hrn. Berzelius mit seinem jetzigen Namen belegt, doch, so viel ich weifs, nur sehr unvollkommen in einer Notiz von Hrn. Levy (*Phil. Magaz. and Annals*, *Vol. I p.* 27) beschrieben worden. Einige lose Krystalle, die ich kürzlich erhalten, haben mich in den Stand gesetzt, die Abbildung, Fig. 4 Taf. IV, und einige rohe Messungen mit dem gemeinen Goniometer zu geben. Letztere sind:

M : M'	= 127°	M : e	= 169° 18'
M : h	= 116° 30'	h : c	= 143

*) S. diese Annal. Bd. XVII S. 483.

Das specifische Gewicht ist =5,14; die Härte zwischen der des Apatits und Feldspaths. Die Farbe der Bruchstücke bräunlichgelb, während die des Gadolinits grün ist.

Mengit.

Diefs Mineral habe ich nach Hrn. Menge benannt, der es mit den vorhergehenden in der Nähe von *Miask* entdeckte.

Der Mengit kommt in Krystallen, eingewachsen in derben Feldspath und Glimmer, in einem granitischen Gesteine vor. Seine Grundform ist ein schiefes rhombisches Prisma, dessen End- und Seitenkanten nahe in dem Verhältnifs 13 : 18 stehen. Die Flächen sind für Messungen mit dem Reflexionsgoniometer zu matt, und die der gröfseren Krystalle nicht einmal eben genug, um sich genau mit dem Contactgoniometer messen zu lassen.

Die Krystalle haben die in Fig. 5 Taf. IV abgebildete Gestalt, und folgende Winkel:

P : M = 100°	P : c = 125°
M : M′ = 95 30′	P : e = 137 30′
P : a = 140 30	

Ihre Farbe ist röthlichbraun; ihre Härte zwischen der des Apatits und Feldspaths; ihr specif. Gewicht = 4,88. Regelmäfsige Spaltbarkeit fehlt, Bruch uneben und Bruchflächen matt. Sie sind noch nicht analysirt, enthalten aber wegen ihres hohen specifischen Gewichts wahrscheinlich Metalloxyde. Häufig sitzen an und in ihm Krystalle von Aeschynit, zuweilen auch von Zircon.

Sarcolith vom Vesuv *).

Diefs Mineral ist vermuthlich zuerst vom Dr. Thomson beobachtet, und von Haüy, der von diesem einige Krystallfragmente zur Untersuchung bekommen hatte, für

*) Siehe diese Annalen, Bd. V S. 168. *P.*

eine Varietät des Analcims gehalten, da es ihm den Würfel zur Grundform zu haben schien. Dem gemäfs wurde der rothe Analcim, gleich wie der rothe Gmelinit, mit dem Namen Sarcolit belegt. Ein Exemplar, mit dem Hr. Heuland mich beschenkte, und ein Krystallfragment, welches ich vom Dr. Donati erhielt, hat mich in den Stand gesetzt, die Fig. 6 Taf. III und folgende Messungen zu geben:

$P : a_1 = 157^\circ\ 19'$	$M : b_1 = 153^\circ\ 20'$
$P : a_2 = 128\ \ 33$	$M : a_2 = 123\ \ 34$
$P : d = 90$	$M : b_2 = 102\ \ 28$
$P : c = 138\ \ 25$	$M : e = 153\ \ 26$
	$M : d = 135$

Die Grundform ist ein quadratisches Prisma, dessen End- und Seitenkanten sehr nahe im Verhältnisse 62 : 55 stehen. Die Flächen b_2 kommen, wie aus der Figur erhellt, nicht paarweise, sondern nur einzeln an einer Seite von c vor.

Wollastonit vom Vesuv.

Diefs ist dasselbe Mineral, welches, nach den von mir bei vesuvischen Mineralien angetroffenen Etiquetten, früher *Zurlonit* oder *Zurlit* genannt worden ist. Die Krystalle sind gewöhnlich sehr unvollständig, und die Flächen sehr matt. Ein Exemplar, welches Dr. Sommerville besitzt, zeigt jedoch einige glänzende und gut begränzte Krystalle, deren Untersuchung mich in den Stand gesetzt hat, die Fig. 7 Taf. IV und die folgenden Messungen zu geben.

Die Grundform ist ein schiefes rhombisches Prisma, dessen Seitenflächen unter 91° 56′ gegen einander neigen, und dessen Seiten- und Endkanten sehr nahe in dem Verhältnifs 40 : 25 stehen. Es ist spaltbar parallel P und a_3, h, c_2. Die Spaltungsfläche parallel h ist am glänzendsten, und, wie ich angenommen, parallel der Kante

des Prisma's; ich weiche demnach in dem Winkel zwischen den Spaltungsflächen von dem gewöhnlich für den Tafelspath angenommenen ab. Bei Exemplaren aus dem Bannat, für die bisher gewöhnlich nur die Spaltbarkeiten parallel P und c_2 angegeben wurden, habe ich jedoch auch eine Spaltbarkeit parallel der Fläche h gefunden. Die Flächen sind vollkommener als gewöhnlich, und einige der gemessenen Winkel stimmen genau mit den berechneten.

$P : a_1 =$	159° 30′	$P : g_1 =$	86° 8′
$P : a_2 =$	150 23	$P : e_1 =$	145 7
$P : a_3 =$	129 42	$P : e_2 =$	133 43
$P : h' =$	110 12	$P : e_3 =$	115 33
$P : f_1 =$	132 55	$P : g =$	93 52
$P : f_2 =$	120 42	$M : M' =$	95 38
$P : M =$	104 48		

Es kommen auch Zwillingskrystalle vor, deren Zusammensetzungsfläche parallel der Endfläche liegt.

Bemerkungen zu vorstehendem Aufsatz von Gust. Rose.

Unter dem Namen *Ilmenit* hat Hr. Brooke in der vorstehenden Abhandlung ein neues Mineral beschrieben, welches Hr. Menge im Ilmengebirge bei Miask im Ural aufgefunden hatte, wo es in kleinen, schwarzen, glänzenden Krystallen in strahligen Albit eingewachsen mit grünem Feldspath (Amazonenstein) vorkommt. In demselben Gebirge an andern Stellen kommt Titaneisen vor in Begleitung mit weifsem Eläolith, schwarzem Glimmer, Feldspath, Pyrochlor, Zirkon u. s. w. Menge hielt die Krystalle von Titaneisen für Tantalit, und sandte sie auch unter diesem Namen im J. 1828 den Actionären, auf deren Kosten er die Sibirische Reise machte. Hr. Kupffer, damals noch in Kasan, erhielt von Hrn. Menge diese Krystalle wohl zuerst; er sah, dafs sie keine Tantalitkrystalle seyen, die unregelmäfsige Ausdehnung der Flächen veranlafste ihn aber, sie für ein neues Mineral

zu halten, das er *Ilmenit* nannte, und in Kastner's Archiv, Bd. X S. 1, beschrieb. Die Krystalle, welche Hr. Menge für das Königl. mineralogische Museum nach Berlin schickte, waren deutlicher, so dafs ich sie gleich für Titaneisen erkennen konnte. Ich machte diefs Resultat in diesen Annalen, Bd. IX S. 286, bekannt. Zu derselben Zeit hatte auch Hr. Heuland in London diese Krystalle von Hrn. Menge erhalten, bei welchem ersteren sie Hr. Levy sah, der ebenfalls die vermeintlichen Tantalitkrystalle für Titaneisen erkannte, und sie als solches, *Phil. Mag. and Annals, Vol. I p.* 26, beschrieb.

Später übertrug nun Menge den Namen Ilmenit auf die kleinen Krystalle, die Hr. Brooke gemessen, die aber ganz verschieden sind von denen die Hr. Kupffer beschrieben hat. In dem Königl. mineralogischen Museum befinden sich diese Krystalle auch, sie fanden sich in dem von Menge zuletzt gesandten Transporte, der erst nach meiner Rückkehr von der Sibirischen Reise ankam. Ich habe sie selbst an Ort und Stelle nicht gefunden, und bin erst hier darauf aufmerksam geworden. Die Krystalle des Königl. Museums sind indefs alle ohne deutliche Endkrystallisation, die Seitenflächen aber glänzend, und recht gut mit dem Reflexionsgoniometer mefsbar. Ich habe sie auch gemessen, und ziemlich denselben Winkel wie Hr. Brooke erhalten. Sie ähneln auf dem ersten Anblick wohl dem *Polymignit*, von welchem sie sich aber gleich durch die Winkel unterscheiden. Es scheint mir indefs nicht zweckmäfsig, auf diese Krystalle den Namen Ilmenit zu übertragen, da man damit einmal das Titaneisen vom Ilmengebirge bezeichnet hat.

Mosander *) hat gezeigt, dafs das Titaneisen von den verschiedenen Stellen Verbindungen enthalte von titansaurem Eisenoxydul mit Eisenoxyd in sehr verschiedenen Verhältnissen, und dafs sich das Titaneisen vom Ilmengebirge durch die grofse Menge von titansaurem Ei-

*) Diese Annalen, Bd. XIX S. 219.

senoxydul, die sich darin befindet, ausgezeichnet. Wahrscheinlich unterscheiden sich die verschiedenen Species von Titaneisen, die verschiedene chemische Zusammensetzungen enthalten, auch durch kleine Abweichungen in den Winkeln, die in dem reinen Eisenoxyde und dem reinen titansauren Eisenoxydul, wenn dieses vorkömmt, am meisten differiren würden. Diefs geht schon aus den Messungen hervor, die Hr. Brooke selbst in der vorstehenden Abhandlung von dem Titaneisen vom Ural anführt. Aehnliche Unterschiede in den Winkeln finden sich auch bei dem Kalkspath, dem Bitterspath, Spatheisenstein und den übrigen kohlensauren Verbindungen, die mit diesen isomorph sind; und wie man verschiedene Namen bei diesen hat, um die verschiedenen chemischen Zusammensetzungen zu bezeichnen, so ist es auch zweckmäfsig und nothwendig, auch das Titaneisen vom Ilmengebirge mit einem besonderen Namen zu benennen, und ihm den einmal zugetheilten Namen Ilmenit zu lassen. Aufserdem giebt es auch zu Verwechselungen Anlafs, wenn man wieder ein ganz neues Mineral Ilmenit nennt. Für den Ilmenit von Brooke ist daher wohl ein neuer Name wünschenswerth.

In der vorstehenden Abhandlung beschreibt Herr Brooke noch ein zweites, seiner Meinung nach neues Mineral vom Ural, welches er nach Hrn. Menge, der dasselbe ebenfalls aufgefunden und mitgebracht hat, *Mengit* nennt. Dieses Mineral ist aber schon früher von Breithaupt beschrieben (Schweigg. Journ. Bd. LV S. 301 (1829)) und *Monazit* genannt worden. Da nun der Name desjenigen, der das Mineral zuerst beschrieben hat, beizubehalten ist, so mufs man auch für dieses Mineral den Namen Monazit behalten. Da aber Hr. Menge das Verdienst hat, auf den Brooke'schen Ilmenit aufmerksam gemacht und ihn mitgebracht zu haben, so scheint es am zweckmäfsigsten, auf diesen letzteren den Namen *Mengit* zu übertragen.

Zu diesen Erörterungen veranlafste mich der Anfang der vorstehenden Abhandlung von Hrn. Brooke, worin er sagt, »unter dem Namen Ilmenit soll Kupffer ein Mineral beschrieben haben, das Menge am Ilmen-See entdeckt hat, und das dort mit Titaneisen vorkommt, welches Levy beschrieben hat. Wahrscheinlich hat Rose nur das Titaneisen gesehen, und daher geschlossen, dafs der Ilmenit von Kupffer Titaneisen sey.« Man könnte fragen, warum Hr. Brooke noch eine Beschreibung des Ilmenits bekannt macht, da dieselbe schon von Kupffer erschienen ist, aber ohne weder Kupffer's, noch meine Abhandlung gelesen zu haben (denn sonst würde er solche Aeufserungen nicht machen), giebt Hr. Brooke Andern die gröfsten Unvorsichtigkeiten Schuld, die nur er selbst begeht.

IV. *Ueber den Xanthit, ein neues Mineral.*

Diefs Mineral ist zuerst vom Dr. Thomson in New-York durch eine chemische Analyse als neu erkannt worden *). Ihm zufolge besteht es aus Zusammenhäufungen runder, hell graulichgelber Körnchen, die nicht gröfser als kleine Sandkörner sind, und sich schon mit dem Nagel von einander trennen lassen. Die Körnchen sind durchscheinend, einige sogar durchsichtig. Ihr Glanz ist Harzglanz und bei den durchsichtigen Körnern sehr lebhaft. Die Körner sind zwar rund, allein unter dem Mikroskop betrachtet, zeigen sie sich als aus unvollkommenen Krystallen bestehend, und ihr Gefüge erscheint blättrig. Das specifische Gewicht ist =3,201. Vor dem Löthrohr ist es sowohl für sich, als auch mit kohlensaurem Na-

*) *Ann. of the Lyc. of Nat. Hist. of New-York, for April* 1828.

tron unschmelzbar. Nach der Analyse des Dr. Thomson besteht es aus:

Kieselerde	32,708
Kalk	36,308
Thonerde	12,280
Eisenoxyd	12,000
Manganoxydul	3,680
Wasser	0,600
	97,576.

Lieutnant Mather fand später den Xanthit zu Amity, in der Grafschaft Orange, Staat New-York, in blättrigen Massen, in demselben Gestein, worin er als Körner vorkommt. Die Massen sind sehr zerbrechlich, zerfallen leicht zu Körnern, von denen einige sich in Prismen, von etwa $\frac{1}{20}$ Zoll im Durchmesser zerspalten lassen. Wenn die blättrigen Massen gegen das Licht gehalten werden, so zeigen sie durch Reflexion sehr deutlich die Richtungen der Spaltungsebenen. Betrachtet man ein brennendes Licht durch eine dünne Platte des Minerals, indem man dabei durch ein kleines Loch in einem Kartenblatt sieht, so zeigt sich doppelte Strahlenbrechung.

Hrn. Mather zufolge schmilzt es vor dem Löthrohr auf Platinblech, schwillt dabei auf, und giebt eine grünliche, durchscheinende Perle, die schwach vom Magneten angezogen wird. Mit Borax giebt es ein Glas, das in der Hitze gelb, erkaltet aber farblos ist.

Die Spaltungsflächen sind parallel den Seiten eines doppelt schiefen Prisma's, dessen Winkel, mit dem Reflexionsgoniometer gemessen, sind:

P : M = 97° 30′
P : T = 94 00
M : T = 107 30.

Die Flächen M und T sind nicht glänzend genug, um die Winkel genau zu geben. (*American. Journ. No.* 38 *p.* 359.)

V. *Ueber den Monticellit, eine neue Mineralspecies, über den Zoisit und den Kupfer-Bleivitriol;*

von Hrn. H. J. Brooke.

(*Philosoph. Magaz. and Annals, Vol. X. p.* 265.)

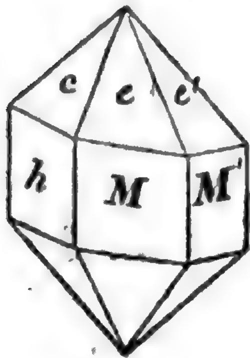
Monticellit.

Vor etwa zwei Jahren erhielt ich von Hrn. G. B. Sowerby eine angeblich vom Vesuv herstammende Stufe mit eingewachsenen Krystallen einer Substanz, welche, wie ich glaube, noch nicht beobachtet worden ist. Das Muttergestein ist ein krystallinischer kohlensaurer Kalk, der aufser dem neuen Mineral Theilchen von einem schwarzen Glimmer und einige kleine Augitkrystalle eingesprengt enthält. In der Voraussetzung, dafs das erwähnte Mineral noch unbeschrieben sey und vom Vesuv herstamme, habe ich es nach Hrn. Monticelli benannt, von dem wir ein Werk über die in der Nachbarschaft jenes Vulcans vorkommenden Mineralien besitzen. Die Krystalle sehen im Allgemeinen wie Quarz aus, und können bei flüchtiger Betrachtung leicht mit ihnen verwechselt werden. Ihre Farbe ist meistens gelblich, indefs sind einige Krystalle auch fast farblos und fast durchsichtig. Als ich ein Stück der Stufe, zur Auflösung des kohlensauren Kalks, in verdünnte Salzsäure legte, wurden die gelblichen Krystalle matt, und mit einem gelblichen Pulver überzogen, unter dem sie weniger gefärbt wie zuvor zurückblieben.

Die Grundform ist ein *gerades rhombisches Prisma* von etwa 132° 54′, an dem die Endkanten zu den Seitenkanten sehr nahe im Verhältnifs 1 : 1,046 stehen.

Spaltungsebenen habe ich auf den Bruchflächen nicht wahrgenommen, und die Krystalle sind zu klein, um in dieser Hinsicht eine weitere Untersuchung zu gestatten. Die Härte liegt zwischen der des Apatits und Feldspaths

Kein Krystall läſst sich vom Muttergestein so hinreichend befreien, daſs sein specifisches Gewicht bestimmt werden könnte; auch sind die Flächen nicht glänzend genug, um eine genaue Messung zu erlauben. Die folgende wird demnach in Zukunft noch einer Berichtigung bedürfen.



$M : M' = 132^\circ\ 54'$
$M : e = 145\ \ 00$
$e : e' = 141\ \ 38$

$h : c = 138^\circ\ 46'$
$M : h = 113\ \ 33$

Zoisit.

Dieſs Mineral ist von Haüy mit dem *Epidot* verwechselt worden, wahrscheinlich, weil Krystalle dieser Substanz im Zoisit von Hoff vorkommen; und diesen Irrthum haben andere Schriftsteller getheilt. Der verstorbene W. Phillips sagt: »Es könne parallel den Flächen eines geraden rhombischen Prisma's von etwa 60° und 120° gespalten werden.«

Hr. Haidinger sagt in seinem *Treatise on Mineralogy*, daſs der Epidot und der Zoisit leicht durch die Farbe zu unterscheiden seyen, und in Bezug auf den Winkel des Zoisits, welchen ich als verschieden von dem des Epidots gegeben habe, bemerkt er: »dieſs würde nöthigen, den Zoisit als eine besondere Species zu betrachten.« Hieraus geht hervor, daſs Hr. Haidinger selbst nicht Gelegenheit hatte, das Mineral zu untersuchen, denn sonst würde er dessen Verschiedenheit vom Epidot sogleich wahrgenommen haben.

Neulich habe ich kleine Zoisitkrystalle mit Endflächen erhalten, deren Grundform, wie deutlich zu ersehen, ein *schiefes rhombisches Prisma* ist, und deren Winkel, wie sie unten angegeben, denen des Euclases sehr nahe kommen, wenn nicht ganz mit ihnen zusammenfallen. Sie lassen sich auch, wie der Euclas, deutlich parallel der schiefen

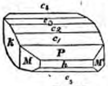
Diagonale, und sonst in keiner Richtung nicht bestimmt spalten. Die erwähnten Krystalle, deren Endflächen jedoch keine genauen Messungen zuliefsen, sind in untenstehender Figur abgebildet.

$e_1 : a = 123^\circ\ 30'$
$a : c = 107\ \ 20$
$b : c = 121\ \ 45$
$a : a' = 145\ \ 20$
$b : b' = 116\ \ 30$

Die völlige Einerleiheit der Gestalten des Zoisits und Euclases hängt offenbar von den relativen Dimensionen der Grundformen, so wie von den Winkeln der Prismen ab; und da diese Dimensionen nur aus genauen Messungen an den Endkanten abgeleitet werden können, so steht zu hoffen, dafs die, welche im Besitze besserer Krystalle sind, die fehlenden Winkelmessungen ergänzen, und so die Beschreibung der Form vervollständigen werden.

Kupfer-Bleivitriol (*Cupreous sulphate of Lead*).

Vor Kurzem habe ich ein Exemplar dieser Substanz erhalten, welches mich in den Stand setzt, nebenstehende Figur mit folgenden Messungen zu geben. Die Grundform ist ein *schiefes rhombisches* Prisma, dessen Endkanten zu den Seitenkanten sehr nahe im Verhältnifs 19 : 8 stehen.



$P : M = 96^\circ\ 25'$	$P : c_3 = 156^\circ\ 10'$
$P : h = 102\ \ 45$	$P : c_4 = 151\ \ 40$
$P : c_1 = 176\ \ 35$	$P : c_5 = 129\ \ 40$
$P : c_2 = 161\ \ 30$	$M : M' = 61$

Es kommen Zwillingskrystalle vor, deren Umdrehungsebenen parallel der Fläche h liegen; die beiden Flächen P schneiden sich dann unter dem Winkel $154^\circ\ 30'$.

Google

VI. *Ueber die doppelte Strahlenbrechung;* *von* A. Fresnel.

(*Mém. de l'Acad. royale de Sciences etc. T. VII. p.* 45.)

Geleitet durch eine aus der Wellentheorie geschöpfte Hypothese hat Huyghens zuerst die wahren Gesetze der Doppelbrechung einaxiger Krystalle aufgefunden. Diese Entdeckung ist vielleicht schwieriger gewesen als alle, welche Newton über das Licht gemacht hat, was daraus hervorzugehen scheint, daſs dieser, nachdem er sich vergebens bemüht, die Wahrheit aufzufinden, hier in Irrthum verfallen ist. Wenn man bedenkt, wie sehr die Erscheinung der Doppelbrechung seine Wiſsbegierde hat anspornen müssen, so wird man es nicht wahrscheinlich finden, daſs er ihr weniger Aufmerksamkeit geschenkt haben sollte, als den übrigen Phänomenen der Optik, und erstaunen muſs man daher, wenn man ihn an die Stelle der eben so richtigen als eleganten Construction von Huyghens, die er doch ohne Zweifel kannte, da er sie in seiner Optik citirt, eine falsche Regel setzen sieht. Unbegreiflicher noch erscheint es aber, wie die Richtigkeit des von Huyghens aufgestellten Gesetzes hat länger als ein Jahrhundert verkannt werden können, da doch der, durch Aufrichtigkeit, Bescheidenheit und seltenen Scharfsinn gleich merkwürdige groſse Mann dieselbe durch Experimente bewiesen hat. Wollten wir es wagen, diesen sonderbaren Zug in der Geschichte der Wissenschaft zu erklären, so würden wir annehmen, die Anhänger des Emissionssystems wären durch die in ihren Augen falsche Hypothese abgeschreckt worden, das Huyghens'sche Werk mit der nöthigen Aufmerksamkeit zu lesen.

Unter den neuern Physikern hat Young zuerst die Richtigkeit des Huyghen'schen Gesetzes geahnet, und

es war auf seinen Rath, dafs Wollaston dieselbe durch zahlreiche und genaue Versuche prüfte und bestätigte. Kaum war das Ergebnifs dieser Versuche in Frankreich bekannt, als Malus dieselbe Arbeit unternahm, und, gleich Wollaston, das Huyghens'sche Gesetz vollkommen mit allen Messungen übereinstimmend fand. Laplace, die Doppelbrechung vom Standpunkte der Emissionstheorie aus betrachtend, machte von dem Princip der kleinsten Wirkung eine gelehrte Anwendung auf die Berechnung der aufserordentlichen Strahlenbrechung. Er fand, dafs man den Gang der Lichttheilchen, welche diese Brechung erleiden, durch die Annahme erklären könne, es wirke auf sie eine gegen die Krystallaxe senkrechte Abstofsungskraft proportional dem Quadrat des Sinus vom Winkel, den der ungewöhnliche Strahl mit dieser Axe mache, woraus dann folgt, dafs der Unterschied zwischen den Quadraten der Geschwindigkeiten, welche der ordentliche und der aufserordentliche Strahl besitzt, proportional demselben Sinus ist.

Diefs Resultat ist indefs nur eine Uebersetzung des Huyghens'schen Gesetzes in die Sprache des Emissionssystems. Die Rechnungen von Laplace haben die theoretische Frage nicht beantwortet; denn sie zeigen nicht, weshalb die Repulsivkraft, welche von der Axe ausfliefst, variire wie das Quadrat des Sinus der Neigung des aufserordentlichen Strahls gegen diese Axe; vielmehr ist es sehr schwierig, diese Hypothese durch mechanische Betrachtungen zu rechtfertigen.

Ein und derselbe polarisirte Strahl erleidet nämlich in einem Kalkspathrhomboëder entweder die ordentliche oder die aufserordentliche Brechung, je nachdem seine Polarisationsebene parallel oder senkrecht gegen den Hauptschnitt des Krystalls liegt. Es wären also die Seiten des Lichtbündels oder die parallelen Seitenflächen der Lichttheilchen, die alleinig durch die Verschiedenheit ihrer Eigenschaften oder Anordnungen die Art der Brechung bedingten; zwei

dieser Seitenflächen würden eine Abstofsung von Seiten der Axe erfahren, die beiden andern aber gleichgültig gegen dieselbe bleiben. Dieselbe Wirkungslosigkeit müfste man aber auch bei der vorderen und hinteren Fläche der Lichttheilchen annehmen, weil man den Strahl durch eine blofse Drehung um ihn selbst der Abstofsungskraft der Axe entziehen kann. Nun mufs aber die Repulsivkraft, welche von der Axe senkrecht gegen deren Richtung ausgeht, eben so gut auf die Seitenflächen der Lichttheilchen wirken, wenn der Strahl parallel ist der Axe, wie wenn er senkrecht auf derselben steht, und man sieht nicht ein, weshalb die Wirkung im ersten Fall Null seyn, und im zweiten ihr Maximum erreichen soll.

Auch wenn man alle Untersuchungen über die mechanische Ursache dieses sonderbaren Gesetzes bei Seite läfst, und dasselbe als eine, nach dem Emissionssysteme, nothwendige Folgerung aus den Thatsachen betrachtet, wird man dennoch in andere Schwierigkeiten verwickelt. Diesem System gemäfs besteht nämlich ein Bündel gewöhnlichen Lichts aus Molecülen, dessen Polarisationsebenen nach allen Azimuthen hin gewandt sind. Die Erfahrung zeigt überdiefs, dafs, wenn ein Strahl auf einen Krystall fällt, die Richtung seiner Polarisationsebene sich nicht plötzlich im Moment seines Eindringens ändert, sondern allmälig, und nachdem er bis zu einer gewissen Tiefe eingedrungen die im Allgemeinen viel gröfser ist, als man den Wirkungskreis der gewöhnlichen und ungewöhnlichen Brechung oder den krummlinige Theil des Laufs der Strahlen annehmen kann. Diefs gesetzt, wird in einem gewöhnlichen Lichtbündel nur ein sehr kleiner Theil der Strahlen seine Polarisationsebenen genau parallel oder senkrecht gegen den Hauptschnitt liegen haben. Die Polarisationsebenen fast aller Lichtmolecüle sind nach den intermediären Azimuthen fast gleichmäfsig vertheilt. Wirkt nun die Abstofsungskraft der Axe auf einen parallel dem Hauptschnitt polarisirten Strahl gar nicht, und auf einen

senkrecht gegen diesen Schnitt polarisirten Strahl in ihrer ganzen Stärke, so mufs ihre Wirkung für die dazwischen liegenden Richtungen stufenweise abnehmen, von der letzten, wo sie ihr Maximum erreicht, bis zur ersten, wo sie Null wird. Weil demnach die Molecüle, aus denen das directe Licht besteht, nach unzählig vielen verschiedenen Azimuthen polarisirt sind, unterliegen sie Abstofsungskräften, die in Stärke ebenfalls verschieden sind, folglich werden ihre Bahnen beim Eintritt in den Krystall verschiedene Biegungen erleiden. Damit sie nun nicht die Unterschiede der Stärke empfinden, mit welcher die Abstofsungskraft der Axe vermöge der verschiedenen Lage der Polarisationsebenen auf sie wirken mufs, ist erforderlich, dafs diese Kraft, wie die Brechkraft des Mittels, in weit beträchtlichere Tiefe wirke, als die, bis zu der die Lichtmolecüle beinah die nämlichen Polarisationsebenen behalten. Allein diefs widerspricht der Wahrscheinlichkeit geradezu; denn die zur Drehung der Polarisationsebene nöthige Dicke ist, besonders in gewissen Fällen, zu beträchtlich, als dafs man annehmen könnte, der krummlinige Theil der Bahn der Lichttheilchen erstrecke sich so weit. Diese Curve, und folglich auch die Endrichtung des gebrochenen Strahls, müssen demnach mit dem Azimuth der Polarisationsebene des einfallenden Strahls variiren. Geht man also dieser Hypothese in ihren Folgerungen nach, so wird man zu dem Schlusse kommen, dafs das Licht sich nicht in zwei Strahlen zertheile, sondern in unzählig viele, vertheilt nach allen Neigungen zwischen den Richtungen des gewöhnlichen und des ungewöhnlichen Strahls.

Die Theorie, welche wir hier bekämpfen, und gegen welche man noch viele andere Einwürfe erheben könnte, hat zu keiner einzigen Entdeckung geführt. Die gelehrten Rechnungen von Laplace, wie merkwürdig sie auch durch die elegante Anwendung der Principien der Mechanik sind, haben über die Gesetze der Doppel-

brechung nichts Neues gelehrt. Wir glauben nicht, dafs der Nutzen einer guten Theorie sich auf die Berechnung der Kräfte beschränken dürfe, wenn die Gesetze der Phänomene bekannt sind: sie würde dann zu wenig zu den Fortschritten der Wissenschaften beitragen. Gewisse Gesetze sind so verwickelt oder so sonderbar, dafs die blofse Beobachtung mit Hülfe der Analogie sie niemals würde auffinden können. Um diese Räthsel zu lösen, mufs man, geleitet durch theoretische Ideen, sich auf eine richtige Hypothese stützen. Solche treffliche Vorzüge bietet die Undulationstheorie dar; denn ihr verdankt man die Entdeckung der verwickelsten und schwierigst zu errathenden Gesetze der Optik, während die vielen übrigen, gewifs auch sehr wichtigen, Entdeckungen, welche, von Newton ab, die Anhänger des Emissionssystems gemacht haben, weit mehr die Frucht ihrer Beobachtungen und ihres Scharfsinnes, als der aus diesem Systeme hergeleiteten mathematischen Schlüsse waren *).

Die Vibrationstheorie, durch welche Huyghens auf die Idee von den ellipsoidischen Wellen kam, mittelst

*) Ich hege vor den Arbeiten Newton's und Laplace's die lebhafteste und reinste Bewunderung; allein ich bewundere nicht Alles, was sie gethan haben, glaube z. B. nicht, wie viele Personen, dafs die Optik von Newton eins seiner ruhmvollsten Werke sey; sie enthält mehre grobe Irrthümer, und die Wahrheiten in derselben waren viel leichter aufzufinden als die Theorie der Bewegung der Himmelskörper. In Wahrheit, welch ein Unterschied zwischen der so einfachen Analyse des Lichts und dem tiefen Blick, welcher Newton in der Abplattung der Erde die Ursache des Vorrückens der Nachtgleichen erkennen liefs! Seine unsterblichen »Principia«, und die Entdeckung der Fluxionsrechnung, die sind es, welche ihn in den ersten Rang der Mathematiker und Physiker versetzen. Wie grofs aber auch das geistige Uebergewicht eines so schöpferischen Mannes sey; so ist er dennoch dem Irrthum unterworfen. Man kann es nicht oft genug wiederholen: *Errare humanum est.* Nichts ist für die Fortschritte der Wissenschaften verderblicher als die Lehre von der Unfehlbarkeit.

deren er den Gang der aufserordentlichen Strahlen in den einaxigen Krystallen so glücklich nachwies, hat uns zur Entdeckung der wahren Gesetze der Doppelbrechung zweiaxiger Krystalle geführt. Ohne Zweifel war ein wichtiger Theil dieser Gesetze schon bekannt, denn Brewster und Biot waren durch zahlreiche Beobachtungen und eine geschickte Handhabung der Analogie bereits dahin gelangt, das Gesetz für die Richtung der Polarisationsebenen beider Strahlen, so wie das für deren Geschwindigkeitsunterschied zu entdecken; allein, was die Geschwindigkeit selbst betrifft, hatten sie sich geirrt, indem sie annahmen, die des gewöhnlichen Lichtbündels bliebe constant, wie bei den einaxigen Krystallen. Die Versuche, welche Biot mit dem Topase anstellte, um diese Theorie zu prüfen, hatten ihm keine merkliche Verschiedenheit in der Brechung des sogenannten *gewöhnlichen* Strahls dargeboten; allein man erstaunt nicht mehr, dafs diese Variationen einem so genauen Beobachter entgehen konnten, wenn man weifs, wie klein dieselben in fast allen Richtungen sind, mit Ausnahme derer, wo sie ihr Maximum erreichen, welche nur durch die Theorie oder einen glücklichen Zufall aufgefunden werden können.

Die, von mir in den *Ann. de chim. et de phys. T. XVII p.* 179 *) aus einander gesetzten, mechanischen Betrachtungen über die Natur der Lichtwellen und die Constitution der doppelbrechenden Mittel hatten mir gedient, gleichzeitig die Variationen der aufserordentlichen Brechung und die constante Geschwindigkeit des gewöhnlichen Strahls bei den einaxigen Krystallen zu erklären. Bald darauf gewahrte ich, dafs der Grund, welchen ich mir von der gleichförmigen Geschwindigkeit des gewöhnlichen Strahls in den einaxigen Krystallen gegeben hatte, nicht

*) Sie wurden bereits im vorhergehenden Bande dieser Annalen S. 68. mitgetheilt. *P.*

auf die zweiaxigen Krystalle anwendbar sey; und indem ich denselben theoretischen Ideen weiter nachging, fühlte ich, dafs in diesen Krystallen keiner der beiden Bündel den Gesetzen der gewöhnlichen Brechung unterworfen seyn könne, und diefs fand ich auch durch den Versuch bestätigt, einen Monat darauf, nachdem ich Hrn. Arago das Ergebnifs meines Nachdenkens mitgetheilt hatte, zwar nicht als eine ganz sichere Sache, aber doch als eine so nothwendige Folgerung aus meinen theoretischen Ansichten, dafs ich gezwungen seyn würde, dieselben aufzugeben, wenn die Erfahrung diese sonderbare Eigenthümlichkeit der Doppelbrechung zweiaxiger Krystalle nicht bestätigen sollte.

Die Theorie hat mir die Variationen der Geschwindigkeit des ordentlichen Strahls nicht auf eine unbestimmte Weise angezeigt, vielmehr mir die Mittel geliefert, ihre Gröfse aus den Elementen der Doppelbrechung des Krystalls, d. h. aus deren Stärke und dem Winkel der beiden Axen herzuleiten. Ich habe nach den, aus Hrn. Biot's Beobachtungen gezogenen, Angaben diese Rechnung für den klaren Topas im Voraus gemacht, und der Versuch stimmte genügend mit dieser Rechnung überein, wenigstens war der Unterschied, welchen ich bemerkte, klein genug, um ihn einigen Fehlern in dem Schnitte des Krystalls und in der Neigung der Strahlen, vielleicht auch einer geringen Verschiedenheit zwischen meinem und Biot's Topase zuschreiben zu können.

Bevor ich jedoch in das Detail dieser Versuche eingehe, will ich versuchen, die Schlufsfolgen, die mich geleitet haben, klar aus einander zu setzen. Ich werde in dieser Abhandlung die synthetische Methode befolgen, nämlich zunächst die mechanische Theorie der Doppelbrechung aus einander setzen, und dann zeigen, durch welche Beobachtungen und Berechnungen ich dieselbe geprüft und gewissermafsen auf experimentellem Wege bewiesen habe.

Mechanische Theorie der Doppelbrechung.

Diese Theorie beruht auf zwei Hypothesen, einer über die Natur der Lichtschwingungen, und einer andern in Bezug auf die innere Beschaffenheit der doppelbrechenden Mittel. Gemäfs der ersten geschehen die Lichtschwingungen nicht, wie man es bei Anwendung der Wellentheorie auf die Optik bisher allgemein angenommen hat, in Richtung der Strahlen, sondern senkrecht gegen dieselben, oder genauer gesprochen, parallel der Oberfläche der Wellen. Nach der zweiten Hypothese stehen die schwingenden Molecüle der doppelbrechenden Mittel nicht nach allen Richtungen in gleicher Abhängigkeit zu einander, so dafs ihre Verschiebungen je nach der Richtung, in der sie geschehen, andere Elasticitäten entwickeln.

Diese zweite Hypothese kann nicht anders als sehr annehmbar seyn, denn sie ist allgemeiner als die umgekehrte, dafs die gegenseitige Abhängigkeit unter den Molecülen, oder die Elasticität, gleich sey nach allen Richtungen. Wenn viele Körper nicht die aus solcher Beschaffenheit entspringenden Erscheinungen darbieten, so rührt es ohne Zweifel meistentheils davon her, dafs ihre Molecular-Gruppen nach verschiedenen Seiten gedreht sind, und einander dadurch in ihren Wirkungen aufheben.

Was dagegen die Hypothese über die Natur der Lichtschwingungen betrifft, so scheint sie beim ersten Anblick weit schwieriger annehmbar, weil man nicht leicht einsieht, wie sich transversale Vibrationen bis in's Unbestimmte in einer Flüssigkeit fortzupflanzen vermögen. Indefs, wenn die Thatsachen, welche schon so viel für die Undulationslehre, und so viel gegen die Emissionslehre sprachen, uns zur Annahme solcher Vibrationen zwingen, geht man sicherer, sich hier an die Erfahrung zu halten, als an die leider nur zu unvollständigen Anga-

ben, welche uns die Mathematiker bisher über die Schwingungen elastischer Flüssigkeiten geliefert haben.

Bevor ich jedoch zeige, wie man sich in einem elastischen Fluidum, wie das, welches das Licht hindurchläfst, die Fortpflanzung dieser transversalen Schwingungen zu denken habe, mufs ich beweisen, dafs, wenn man die Undulationstheorie annimmt, die Existenz dieser Schwingungen eine nothwendige Folgerung aus den Thatsachen wird.

Nachdem ich, gemeinschaftlich mit Hrn. Arago, bemerkt hatte, dafs unter sich rechtwinklig polarisirte Strahlen bei ihrer Vereinigung immer eine gleiche Lichtmenge geben, wie verschieden sie auch im Gange seyn mögen, so glaubte ich, diese Erscheinung liefse sich leicht durch die Annahme erklären, dafs die Aethertheilchen nicht parallel, sondern senkrecht gegen die Strahlen oscillirten, und zwar in zwei rechtwinklig polarisirten Strahlen senkrecht auf einander. Allein diese Hypothese war den hergebrachten Ideen über die Natur der Vibrationen elastischer Flüssigkeiten so entgegen, dafs ich lange anstand, sie anzunehmen; und selbst als die Gesammtheit der Thatsachen und wiederholtes Nachdenken mich überzeugt hatten, dafs sie nothwendig sey zur Erklärung der optischen Erscheinungen, suchte ich, bevor ich sie dem Urtheil der Physiker unterwarf, mich zu versichern, dafs sie den Grundsätzen der Mechanik nicht widerspräche. Dreister in seinen Vermuthungen, und weniger Vertrauen in die Ansichten der Mathematiker setzend, hat Hr. Young diese Hypothese vor mir bekannt gemacht (obgleich er sie vielleicht später erdachte), und folglich gehört ihm, hier, wie in vielen anderen Speculationen, die Priorität. Brewster's Versuche über die zweiaxigen Krystalle brachten ihn auf den Gedanken, dafs die Lichtschwingungen statt longitudinal, in Richtung der Strahlen, zu geschehen, wohl transversal vor sich gehen könnten, ähnlich den Undulationen einer unendlich langen, an einem ihrer Enden er-

schütterten Saite; wenigstens machte er diese Hypothese bei Gelegenheit der Brewster'schen Beobachtungen bekannt, also drei Jahre nach der Entdeckung, daſs rechtwinklig gegen einander polarisirte Strahlen sich nicht interferiren. Gestützt auf dieſs erste Interferenzgesetz polarisirter Strahlen, will ich versuchen zu beweisen, daſs die Lichtschwingungen alleinig in paralleler Richtung mit der Oberfläche der Wellen geschehen.

Beweis, daſs in den Lichtstrahlen nur transversale Schwingungen vorhanden sind.

Es war im Jahr 1816 als Hr. Arago und ich entdeckten, daſs zwei unter sich rechtwinklig polarisirte Lichtbündel keinen Einfluſs auf einander ausüben unter denselben Umständen, unter denen gewöhnliche Lichtstrahlen die Interferenzphänomene darbieten; daſs aber, so wie ihre Polarisationsebenen vom rechten Winkel etwas abweichen, aus dem Zusammentreffen beider Strahlen dunkele und helle Streifen entspringen, die desto deutlicher werden, je näher jene Ebenen ihrer Coincidenz kommen.

Dieser Versuch lehrt, daſs zwei Lichtbündel, die nach unter sich rechtwinkligen Ebenen polarisirt sind, bei ihrer Vereinigung immer ein Licht von gleicher Intensität geben, wie viel auch der Unterschied in den Wegen betrage, die sie von ihrer gemeinschaftlichen Quelle ab durchlaufen haben. Aus dieser Thatsache folgt nothwendig, daſs in den beiden Lichtbündeln die Vibrationen der Lichttheilchen senkrecht gegen einander und gegen die Richtung der Strahlen geschehen.

Um dieſs zu erweisen, erinnere ich zuvörderst daran, daſs in den geradlinigen Oscillationen, die aus einer kleinen Störung des Gleichgewichts entspringen, die absolute Geschwindigkeit des oscillirenden Theilchens proportional ist dem Sinus der Zeit, diese vom Anfang der Bewegung gezählt, und die Dauer einer vollständigen Oscillation einem ganzen Kreisumfang entsprechend gesetzt.

Ist die Oscillation krummlinig, so kann sie immer in zwei geradlinige, unter sich rechtwinklige Oscillationen zerlegt werden, auf welche sich dann das nämliche Theorem anwenden läſst.

In der Lichtwelle, welche durch die Oscillation des leuchtenden Körpertheilchens hervorgebracht wird, sind die absoluten Geschwindigkeiten der verschiedenen Aethermolecüle proportional den correspondirenden Geschwindigkeiten des leuchtenden Theilchens, folglich ebenfalls proportional dem Sinus der Zeit. Ferner ist der Raum, den jede der Elementar-Erschütterungen, aus denen die Welle besteht, durchläuft, proportional der Zeit, und so oft dieser Raum die Undulationslänge enthält, so viele ganze Oscillationen sind auch vom Beginn der Erschütterung vollbracht worden. Bezeichnet also π das Verhältniſs des Kreisumfangs zum Durchmesser, t die vom Anfang der Bewegung verflossenen Zeit, λ die Undulationslänge und x den Raum, den die Erschütterung zu durchlaufen hatte, um in dem von uns beobachteten Punkt des Aethers einzutreffen; so wird die absolute Geschwindigkeit, die dieser Punkt nach der Zeit t besitzt, dargestellt seyn durch:

$$a \sin 2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right),$$

worin a ein constanter Coëfficient, der proportional ist der Oscillationsamplitude der Aethermolecüle oder der Intensität ihrer absoluten Geschwindigkeit *).

*) Eine Herleitung dieser Formeln und eine ausführlichere Anweisung zu ihrem Gebrauche findet sich im Band V der *Mémoires de l'Académie des Sciences*, in des Verfassers Abhandlung über die Diffraction, welche wir, um den Lesern der Annalen alle Hauptarbeiten zur Begründung der Undulationstheorie in die Hände zu liefern, bei nächster Gelegenheit mitzutheilen gedenken. Zum Verständniſs der hier im Text gebrauchten Formeln reicht vor der Hand das, was in diesem Bande, S. 217. in der Anmerkung, und S. 271 in dem Zusatz angeführt ist, vollkommen aus. Wer übrigens mit der Wellentheorie noch gar

Diefs gesetzt, betrachten wir nun einen der beiden interferirenden Lichtbündel. Welche Richtung die absolute Geschwindigkeit der Aethertheilchen auch haben mag, so können wir diese Geschwindigkeit doch immer für jeden Augenblick nach drei unter sich rechtwinkligen constanten Richtungen zerlegen; die erste dieser Richtungen z. B. mag mit der Normale der Welle zusammenfallen, und von den beiden andern, die senkrecht auf dieser Normale sind, mag die eine parallel und die andere senkrecht gegen die Polarisationsebene liegen. Nach dem allgemeinen Satz für kleine Bewegungen kann man die von den Aethertheilchen ausgeführten Oscillationen, von welcher Beschaffenheit sie auch seyn mögen, immer betrachten als entstanden aus der Combination dreier Reihen geradliniger Oscillationen, die jenen drei unter sich rechtwinkligen Axen parallel vollbracht werden, und die wir hier, der gröfseren Allgemeinheit wegen, als zu verschiedenen Zeiten angefangen voraussetzen.

Nennen wir t die Zeit, die seit einer gemeinschaftlichen Epoche verflossen ist, und bezeichnen mit u, v, w das, was der Zeit t hinzugelegt werden mufs, um für jede der drei geradlinigen Vibrationen die gesammte Zeit, gezählt vom Anfange der Bewegung, zu erhalten; alsdann werden die Geschwindigkeiten, bezogen auf den von uns betrachteten Zeitpunkt, seyn:

$$a . \sin 2\pi\left(u+t-\frac{x}{\lambda}\right);\ b \sin 2\pi\left(v+t-\frac{x}{\lambda}\right);$$

$$c \sin 2\pi\left(w+t-\frac{x}{\lambda}\right),$$

worin a, b, c constante Coëfficienten sind, welche die Intensität der absoluten Geschwindigkeiten in jedem dieser geradlinigen Oscillationssysteme bezeichnen.

Betrachten wir nun den zweiten polarisirten Lichtbündel, und zerlegen seine absoluten Geschwindigkeiten

nicht vertraut seyn sollte, kann die im Bd. III (79) S. 303 mitgetheilte Darstellung zu Rathe ziehen. *P.*

nach denselben rechtwinkligen Axen; bezeichnen wir mit x' den Weg, welchen er durchlaufen mufste, um zu demselben Punkt zu gelangen, so haben wir auf ähnliche Weise für die drei Componenten, bezogen auf den Zeitpunkt t:

$$a'.\sin 2\pi\left(u'+t-\frac{x'}{\lambda}\right);\quad b'\sin 2\pi\left(v'+t-\frac{x'}{\lambda}\right);$$
$$c'\sin 2\pi\left(w'+t-\frac{x'}{\lambda}\right).$$

Da diese drei Geschwindigkeiten der Reihe nach gleiche Richtung wie die vorhergehenden haben, so braucht man sie nur zu addiren, um ihre Resultanten zu bekommen. Diefs giebt:

$$a\sin 2\pi\left(u+t-\frac{x}{\lambda}\right)+a'\sin 2\pi\left(u'+t-\frac{x'}{\lambda}\right)$$
$$b\sin 2\pi\left(v+t-\frac{x}{\lambda}\right)+b'\sin 2\pi\left(v'+t-\frac{x'}{\lambda}\right)$$
$$c\sin 2\pi\left(w+t-\frac{x}{\lambda}\right)+c'\sin 2\pi\left(w'+t-\frac{x'}{\lambda}\right).$$

Transformirt man diese Ausdrücke nach der in meiner Abhandlung über die Diffraction angegebenen Methode *) dergestalt, dafs jeder nur einen einzigen Sinus einschliefst, so findet man, dafs das Quadrat des constanten Coëfficienten, welcher diesen Sinus multiplicirt, für jeden derselben respective ist:

$$a^2+a'^2+2aa'\cos 2\pi\left(u-u'+\frac{x'-x}{\lambda}\right)$$
$$b^2+b'^2+2bb'\cos 2\pi\left(v-v'+\frac{x'-x}{\lambda}\right)$$
$$c^2+c'^2+2cc'\cos 2\pi\left(w-w'+\frac{x'-x}{\lambda}\right)$$

Nun wird in jedem Vibrationssystem die Intensität des Lichts, welche immer der Summe der lebendigen Kräfte

*) *Mémoires de l'Acad. des Sciences, T. V. p.* 379. (Vergl. S. 273 dies. Band. d. Ann. *P.*)

Kräfte proportional ist, dargestellt durch das Quadrat des constanten Coëfficienten der absoluten Geschwindigkeiten; und da diese Geschwindigkeiten rechtwinklig auf einander sind, so braucht man nur die obigen drei Quadrate zu addiren, um die aus den drei Wellensystemen entspringende Totalsumme von lebendigen Kräften, d. h. die Intensität des totalen Lichts, zu erhalten.

Die Erfahrung lehrt, dafs diese Intensität constant bleibt, welche Variationen auch der Unterschied $x'-x$ in den durchlaufenen Wegen erleide, sobald nur die Polarisationsebenen der beiden interferirenden Lichtbündel senkrecht gegen einander stehen. Da nun also in diesem Fall die Summe obiger drei Ausdrücke für alle Werthe von $x'-x$ constant bleibt, so mufs man haben:

$$\begin{aligned}&a^2+b^2+c^2+a'^2+b'^2+c'^2\\&+2aa'\cos 2\pi\left(u-u'+\frac{x'-x}{\lambda}\right)\\&+2bb'\cos 2\pi\left(v-v'+\frac{x'-x}{\lambda}\right)\\&+2cc'\cos 2\pi\left(\omega-\omega'+\frac{x'-x}{\lambda}\right)=C,\end{aligned}$$

in welcher Gleichung nur $x'-x$ variabel ist. Da dieser Gleichung für jeglichen Werth von $x'-x$ genügt werden mufs, so ist klar, dafs alle mit $x'-x$ behafteten Glieder verschwinden müssen, weil man sonst besondere Werthe von $x'-x$ aus der Gleichung ziehen würde. Folglich hat man:

$$aa'=0;\ bb'=0;\ cc'=0.$$

Die beiden polarisirten Lichtbündel, welche interferiren, weichen nur durch die Azimuthe ihrer Polarisationsebenen von einander ab; d. h. wenn man einen von ihnen um seine Axe dreht, so dafs seine Polarisationsebene parallel wird der des andern, so zeigt er nach allen Richtungen genau dieselben Eigenschaften wie letzterer; beide werden auf dieselbe Weise zurückgeworfen und gebrochen, und zwar bei gleichen Einfallswinkeln

in gleichen Verhältnissen. Man muſs daher annehmen, daſs, wenn der eine keine Vibrationsbewegungen senkrecht gegen die Wellenfläche enthält, dasselbe auch für den andern gilt. Nun sind a und a' die constanten Coëfficienten der gegen die Wellenflächen normalen, absoluten Geschwindigkeiten in den beiden Bündeln, und da, weil $aa'=0$, man wenigstens haben muſs $a=0$ oder $a'=0$, so muſs man aus dem Obigen schlieſsen, daſs a und a' beide gleich Null sind. Es können daher in dem polarisirten Lichte nur parallel der Wellenfläche Vibrationsbewegungen stattfinden.

Betrachten wir jetzt die beiden andern Gleichungen $bb'=0$ und $cc'=0$, welche die constanten Coëfficienten der auf den Strahlen senkrechten oder, allgemeiner, der mit der Wellenfläche parallelen Geschwindigkeiten enthalten. Für den ersten Bündel ist b die mit der Polarisationsebene parallele, und c die auf dieser Ebene senkrechte Componente; beim zweiten Bündel ist dagegen b', weil es b parallel liegt, senkrecht auf der Polarisationsebene, und c' dieser Ebene parallel; mithin sind b' und c' respective das für den zweiten Bündel, was c und b für den ersten sind. Nach der zuvor gemachten Bemerkung über die vollkommene Aehnlichkeit zwischen den Eigenschaften der beiden interferirenden Lichtbündel wird also, wenn in dem ersten $b=0$ ist, in dem zweiten $c'=0$ seyn, oder umgekehrt, wenn im ersten $c=0$, wird im zweiten $b'=0$. Mithin muſs man aus den beiden letzten Gleichungen schlieſsen:

$$b=0 \text{ und } c'=0,$$

oder:

$$c=0 \text{ und } b'=0,$$

d. h. daſs in jedem der beiden Lichtbündel nur parallel oder senkrecht gegen seine Polarisationsebene Vibrationen vorhanden sind.

Später, bei Auseinandersetzung der mechanischen Ursachen der Doppelbrechung, werde ich zeigen, daſs

diese Vibrationen in dem ordentlichen Lichtbündel senkrecht gegen den Hauptschnitt geschehen, d. h. senkrecht gegen die Ebene, welche man übereingekommen ist Polarisationsebene zu nennen.

Nachdem bewiesen worden, dafs im polarisirten Licht die Aethermolecüle keine Schwingungen senkrecht gegen die Wellenfläche machen, sind wir zu der Annahme gezwungen, dafs diefs auch beim gewöhnlichen Lichte der Fall sey. Denn, wenn ein Bündel des gewöhnlichen Lichts senkrecht auf einen doppeltbrechenden Krystall fällt, wird er in zwei polarisirte Bündel zerspalten, die keine gegen die Wellen senkrechte Vibrationen mehr enthalten. Wären nun solche Vibrationen im einfallenden Lichte befindlich gewesen, müfsten sie also vollkommen zerstört worden seyn, und diefs würde eine Verminderung der lebendigen Kräfte, folglich eine Schwächung des Lichts, zur Folge gehabt haben. Dem widerspricht aber die Erfahrung, denn wenn der Krystall durchsichtig ist, geben die beiden ausfahrenden Bündel bei ihrer Vereinigung ein dem einfallenden Bündel an Intensität gleiches Licht, sobald man ihnen nur noch die geringe Menge des an der Krystallfläche reflectirten Lichts hinzufügt. Dafs die auf den Wellen normalen Vibrationen in diese kleine Lichtmenge zurückgedrängt worden seyen, kann man nicht annehmen; denn wenn man diefs Licht durch einen Krystall gehen läfst, wird es gleichfalls fast vollständig in zwei polarisirte Lichtbündel umgewandelt, in denen, wie man weifs, solche Vibrationen nicht vorhanden sind. Es ist also die Annahme natürlich, dafs auch das gewöhnliche Licht nur Vibrationen parallel den Wellenflächen enthalte, und dafs es aus einer Zusammenhäufung oder raschen Aufeinanderfolge einer grofsen Menge nach allen Azimuthen polarisirter Wellensysteme bestehe. Zufolge dieser Theorie besteht der Act der Polarisation nicht in einer Erzeugung transversaler Vibrationen, sondern in einer Zerlegung dieser schon vorhandenen Vibrationen nach

zwei festen, gegen einander senkrechten Richtungen, und in der Trennung der aus dieser Zerlegung hervorgegegangen Strahlen.

Erklärung der Interferenzgesetze für polarisirte Strahlen.

Nach dem was wir über die Vibrationen polarisirter Strahlen gesagt haben, ist klar, daſs Strahlen nur dann die Phänomene der Interferenz darbieten können, wenn ihre Polarisationsebenen einander parallel liegen, oder wenigstens dem Parallelismus nahe kommen. Bilden diese Ebenen einen rechten Winkel unter sich, so stehen auch die Schwingungen der Aethertheilchen senkrecht auf einander; will man dann für irgend einen Punkt in der gemeinschaftlichen Richtung beider Strahlen die Resultante der beiden Geschwindigkeiten haben, welche sie dem Aethertheilchen einprägen, so muſs man die Quadrate der beiden Geschwindigkeiten addiren. Diese Summe ist das Quadrat der Resultante. Derselbe Calcül läſst sich auf alle Punkte der beiden Wellensysteme anwenden, wie auch diese in ihrem Gange verschieden seyn mögen; mithin wird die Summe der Quadrate der absoluten Geschwindigkeiten, welche den Aethertheilchen durch die Vereinigung beider Wellensysteme eingeprägt werden, immer gleich seyn der Summe der Quadrate der absoluten Geschwindigkeiten, welche einzeln von jedem der beiden Lichtstrahlen herbeigeführt werden, oder, mit andern Worten, die Intensität des gesammten Lichts wird immer gleich seyn der Summe der Intensitäten der beiden interferirenden Strahlen, um wie viel diese auch im Gang verschieden seyn mögen. Die Veränderungen im Gang-Unterschied können also niemals die Abwechslungen von Hell und Dunkel hervorbringen, welche man beim gemeinen Lichte oder bei den nach parallelen Richtungen polarisirten Strahlen wahrnimmt. Man sieht mit welcher Leichtigkeit unsere Hypothese das erste Interfe-

renzgesetz der polarisirten Strahlen erklärt, und diefs mufs seyn, weil wir sie gerade aus diesem Gesetze abgeleitet haben.

Wir können demnach die Hypothese durch den eben gelieferten Beweis als hinlänglich festgestellt betrachten; allein es wird nicht unnöthig seyn zu zeigen, dafs dieselbe auch mit den übrigen Interferenzgesetzen der polarisirten Strahlen ganz eben so gut übereinstimmt, ja dafs diese Gesetze eine unmittelbare Folgerung aus ihr werden. Diese theoretischen Entwicklungen über die Eigenschaften des polarisirten Lichts werden in einer Abhandlung über die doppelte Strahlenbrechung nicht unpassend erscheinen, zumal sie in den Aufsätzen, die ich beabsichtige über die Färbung der Krystallblättchen bekannt zu machen, noch ihre Anwendung finden werden *).

Wenn die interferirenden Lichtbündel mit ihren Polarisationsebenen einander parallel liegen, so besitzen ihre Vibrationsbewegungen gleiche Richtung, und sie verstärken also einander längs dem ganzen Strahl, sobald der Gang-Unterschied Null ist oder eine gerade Anzahl halber Undulationen beträgt; sie schwächen aber einander, wenn dieser Unterschied gleich ist einer ungeraden Anzahl halber Undulationen. Ueberhaupt kann man für diesen Fall die Intensität des Lichts, welches aus der Zusammenwirkung mehrerer Wellensysteme entspringt, nach den bereits erwähnten Formeln in meiner Abhandlung über die Lichtbeugung berechnen, da diese Formeln in der Hypothese aufgestellt sind, dafs die Vibrationen der interferirenden Strahlen in einer gemeinschaftlichen Richtung geschehen.

Ich komme nun zum dritten Interferenzgesetz der polarisirten Strahlen. Wenn zwei Theile eines Licht-

*) Es ist damit wahrscheinlich eine weitere Ausführung der im Bd. XII (88) S. 366 dies. Annal. mitgetheilten Darstellung gemeint. P.

bündels, welche zuvor eine und dieselbe Polarisationsebene PP' (Fig. 1 Taf. V) besafsen, eine neue Polarisation nach zwei verschiedenen Ebenen OO' und EE erhalten, und darauf auf eine gemeinschaftliche Polarisationsebene SS' oder TT' zurückgeführt werden, so entsprechen ihr Accord und ihr Discord genau dem Unterschied der durchlaufenen Wege, sobald die beiden Polarisationsebenen OC und EC, indem sie die ursprüngliche Richtung CP verlassen, zuerst aus einander weichen, dann rückwärts gehend sich wieder nähern, bis sie zuletzt in CS zusammenfallen; wenn aber die beiden Ebenen mit dem Auseinanderweichen fortfahren, bis sie auf ihre gegenseitigen Verlängerungen, z. B. auf CT und CT', zu liegen kommen, so reicht es nicht mehr hin, den Unterschied der durchlaufenen Wege in Rechnung zu ziehen, sondern man mufs aufserdem bei einem der interferirenden Lichtbündel das Zeichen der absoluten Geschwindigkeiten vertauschen., d. h. deren constanten Coëfficienten das entgegengesetzte Zeichen geben, oder was dasselbe ist, dem Unterschied zwischen den durchlaufenen Wegen eine halbe Undulation hinzufügen.

Leicht sieht man den Grund dieser Regel ein. Um die Figur nicht zu überladen, wollen wir annehmen, die Linien in derselben bezeichnen nicht die Polarisationsebenen, sondern die immer auf diesen Ebenen senkrechte Richtung der Lichtvibrationen; diefs bewirkt dasselbe, wie wenn wir die Figur einen Quadranten hindurch um ihren Mittelpunkt C gedreht hätten, was in den relativen Lagen der Polarisationsebenen nichts ändert. Betrachten wir für einen beliebigen Punkt des in C (Fig. 1 Taf. V) projicirten Lichtstrahls die absolute Geschwindigkeit, mit welcher die Aethertheilchen in dem ursprünglichen Bündel, dessen Vibrationen nach PP' geschehen, in einem bestimmten Zeitpunkt begabt sind; und nehmen wir an, dafs in diesem Augenblick das Theilchen C von C gegen P getrieben werde, d. h. dafs die absolute Geschwindigkeit

in der Richtung CP wirke, deren Componenten nach CO und CE, also: die eine in Richtung CO, und die andere in Richtung CE'. Nach dem allgemeinen Satz über die kleinen Bewegungen sind nun diese Componenten die absoluten Geschwindigkeiten in den beiden Wellensystemen, die aus der Zerlegung des erstern Systems entspringen. Nimmt man an, OO' und EE' seyen rechtwinklig gegen einander, wie es der Fall ist bei den ordentlichen und aufserordentlichen Vibrationen in einem mit doppelter Strahlenbrechung begabten Krystall, so wird die Componente CO gleich seyn der ersten absoluten Geschwindigkeit multiplicirt mit $\cos i$ und die Componente CE' gleich derselben Geschwindigkeit multiplicirt mit $\sin i$. Geht man von den absoluten Geschwindigkeiten zu den lebendigen Kräften über, die den Quadraten dieser Geschwindigkeiten, d. h. $\cos^2 i$ und $\sin^2 i$ proportional sind, so hat man eine recht einfache Erklärung des Malus'schen Gesetzes über die relativen Intensitäten des ordentlichen und aufserordentlichen Bildes.

Kehren wir indefs zu den Componenten CO und CE' zurück. Zerlegt man jede derselben in zwei andere parallel den Richtungen SS' und TT', so erfolgen daraus für die erste CO zwei Geschwindigkeiten, die in den Richtungen CS und CT wirken, und analog für die zweite CE' zwei Geschwindigkeiten, die in den Richtungen CS und CT' wirken. Man sieht, dafs in der Ebene SS' die beiden definitiven Componenten in gleichem Sinne, und folglich einander unterstützend wirken; während die in der Ebene TT' einander entgegen wirken, und daher mit entgegengesetzten Zeichen versehen werden müssen. Diefs rechtfertigt die angegebene Regel. Denn das eben Gesagte läfst sich mit gleichem Rechte auf alle Punkte des in C projicirten Strahles anwenden, folglich auch auf den constanten Coëfficienten, welcher alle absoluten Geschwindigkeiten eines jeden Wellensystems multiplicirt. Diefs Gesetz, das beim

ersten Anblick vielleicht verwickelt erscheint, ist also im Grunde, wie man sieht, nur eine sehr einfache Folgerung aus der Zerlegung der Kräfte *).

Die so eben für die Interferenz der polarisirten Strahlen aufgestellten Sätze sind hinreichend, alle Farbenerscheinungen der Krystallblättchen zu erklären und zu berechnen. Wir könnten demnach einhalten mit der Entwicklung dieser Betrachtungen, deren specieller Zweck darin bestand, den theoretischen Beweis der Regeln zu geben, auf denen die Berechnung der Farben krystallisirter Lamellen beruht. Ich halte es jedoch nicht für überflüssig, hier einige der einfachsten Folgerungen aus diesen Principien nachzuweisen.

Ich setze voraus, es falle ein Bündel polarisirter Strahlen senkrecht auf ein Krystallblättchen, das in der Ebene der Fig. 1 Taf. V liegt. Es sey auch hier PP' die Richtung, parallel welcher die Vibrationen des einfallenden Bündels geschehen, und es seyen OO' und EE' die Richtungen der Vibrationen des ordentlichen

*) Ich halte es für überflüssig, hier eine Erklärung des vierten Interferenzgesetzes der polarisirten Strahlen zu geben. Diefs Gesetz, welches eine Folge des obigen ist, wie ich es in den *Ann. de chim. et de physique*, *T. XVII p.* 104 (oder in der ganz gleichen Stelle in dies. Annal. Bd. XII (88) S. 378. P.) gezeigt habe, besteht darin, dafs die gegen einander rechtwinklig polarisirten Strahlen, nach Zurückführung auf eine gemeinschaftliche Polarisationsebene, nur dann die Interferenz-Phänomene darbieten, wenn sie vorher polarisirt waren. Sie üben zwar, sobald ihre Vibrationsbewegungen auf eine gemeinschaftliche Richtung zurückgeführt sind, nothwendig einen Einflufs auf einander aus; allein das Licht, welches zuvor keine Polarisation erlitten hat, und welches man als eine Vereinigung unzählig vieler nach allen Richtungen polarisirter Wellensysteme betrachten kann, erzeugt, wenn man es nach seinem Durchgange durch ein Krystallblättchen mit einem Kalkspath-Rhomboëder zerlegt, zugleich in beiden Bildern entgegengesetzte Wirkungen, welche einander aufheben, wie es leicht aus dem oben erklärten Gesetz zu ersehen ist.

und aufserordentlichen Bündels, in welche der einfallende beim Durchgange durch den Krystall zerlegt wird. Gesetzt diefs Krystallblättchen sey so dünn, dafs zwischen den beiden ausfahrenden Lichtbündeln kein merklicher Gangunterschied entsteht, oder, was gleich ist, es habe eine solche Dicke, dafs der Gangunterschied eine ganze Zahl von Undulationen beträgt; dann werden alle Punkte des in *C* projicirten Strahls gleichzeitig in beiden Wellensystemen von Geschwindigkeiten sollicitirt, die gleichen Epochen der Oscillationsbewegung entsprechen, die also in jedem Punkt des Strahls dasselbe Intensitätsverhältnifs besitzen, nämlich das der constanten Coëfficienten der absoluten Geschwindigkeiten beider Wellensysteme, deren Resultanten also parallel sind, und sich sämmtlich nach PP' projiciren lassen, weil die Componenten sämmtlich paarweis in dem Verhältnifs $\cos i : \sin i$ stehen. Mithin ist das Licht, welches aus der Vereinigung der beiden ausfahrenden Bündel entsteht, noch polarisirt, weil alle seine Vibrationen in parallelen Richtungen geschehen, und weil es dieselbe Polarisationsebene wie der einfallende Bündel besitzt.

Gesetzt nun, der Gangunterschied zwischen dem ordentlichen und dem aufserordentlichen Bündel beim Austritt aus dem Krystall betrage eine halbe Undulation, oder eine ungerade Anzahl halber Undulationen, was dasselbe ist, wie wenn, bei Gleichheit des Ganges, alle absoluten Geschwindigkeiten des einen der beiden Wellensysteme entgegengesetztes Zeichen bekommen. Wenn dem gemäfs in einem Bündel die Geschwindigkeit, welche das Theilchen *C* in einem gewissen Augenblick besitzt, wie früher z. B. von *C* nach *O* gerichtet ist, dasselbe Theilchen aber durch den andern Bündel nun nicht mehr wie zuvor von *C* nach *E'*, sondern von *C* nach *E* getrieben wird, so wird die Resultante beider Impulse nicht mehr nach *CP* gerichtet seyn, sondern nach einer Linie, die auf der andern Seite von *CO* liegt, und mit letzterer

Linie einen Winkel bildet, der dem von *CO* und *CP* eingeschlossenen Winkel *i* gleich ist. Dasselbe gilt von allen übrigen Punkten längs dem in *C* projicirten Strahl. Mithin wird das totale Licht, welches aus den beiden ausfahrenden Strahlen zusammengesetzt ist, beim Austritt aus dem Krystall noch polarisirt seyn, weil alle seine Vibrationen parallel einer constanten Richtung ausgeführt werden; allein seine Polarisationsebene fällt nicht mehr, wie vorhin, mit der ursprünglichen Polarisationsebene zusammen, sondern macht mit dieser den Winkel $2i$. Diese neue Richtung der Polarisationsebene ist es, welche Hr. Biot das *Azimuth* $2i$ nennt.

Man sieht mit welcher Einfachheit die so eben entwickelte Theorie erklärt, weshalb zwei Lichtbündel, die rechtwinklig gegen einander polarisirt sind, nämlich einer parallel und der andere senkrecht gegen den Hauptschnitt des Krystalls, durch ihre Vereinigung ein Licht bilden, welches entweder nach der ursprünglichen Ebene oder nach dem Azimuth $2i$ polarisirt ist, je nachdem der Unterschied in dem Gange der beiden Lichtbündel gleich ist einer geraden oder ungeraden Anzahl halber Undulationen. Wir sehen nicht ein, wie man diefs merkwürdige Phänomen nach der Emissionslehre erklären will, ein Phänomen, das man nicht in Zweifel ziehen kann, da es durch den so entscheidenden Versuch mit den beiden Rhomboëdern erwiesen ist *).

Betrachten wir nun den Fall, wo der Gangunterschied nicht mehr eine ganze Zahl von halben Undulationen beträgt, dann sind die correspondirenden Geschwindigkeiten in den beiden Wellensystemen nicht mehr gleichzeitig auf dieselben Punkte des in *C* projicirten Strahls angelegt. Daraus folgt, dafs die beiden Kräfte, welche jeden dieser Punkte gleichzeitig sollicitiren, nicht mehr einerlei Gröfsenverhältnifs längs dem ganzen Strahl

*) *Annal. de chim. et de phys. T. XVII p.* 94, (oder auch diese Annal. Bd. XII (88) S. 368. *P.*)

besitzen, also, dafs die Resultanten derselben nicht mehr nach einer und derselben Ebene gerichtet sind. Alsdann besitzt die Vereinigung der beiden Wellensysteme nicht mehr die Kennzeichen des polarisirten Lichts. Nennen wir a den Gangunterschied der beiden Wellensysteme; die constanten Coëfficienten ihrer absoluten Geschwindigkeiten sind respective gleich $\cos i$ und $\sin i$, wenn man den Coëfficienten des einfallenden Lichtbündels, dessen Vibrationen parallel mit PP' geschehen, zur Einheit nimmt. Die absoluten Geschwindigkeiten, welche die beiden componirenden Bündel einem und demselben Punkt des in C projicirten Strahls, in dem Moment t einprägen, sind also:

$$\cos i \,.\, \sin 2\pi(t) \text{ und } \sin i \,.\, \sin 2\pi\left(t-\frac{a}{\lambda}\right)$$

und das Quadrat der Resultante dieser beiden rechtwinkligen Kräfte wird gleich seyn:

$$\cos^2 i \,.\, \sin^2 2\pi t + \sin^2 i \,.\, \sin^2 2\pi\left(t-\frac{a}{\lambda}\right) \quad . \; . \; . \quad (A)$$

Diese Formel giebt auch die Abstände des schwingenden Theilchens von seiner Gleichgewichtslage, wenn man die Zeit t um einen Viertelkreisumfang, oder den gemeinschaftlichen Ausgangspunkt um eine Viertelundulation verlegt; denn jene Abstände folgen demselben Gesetze, wie die Geschwindigkeiten, nur mit dem Unterschiede, dafs die Geschwindigkeit Null ist, wenn das Theilchen am weitesten aus seiner Gleichgewichtslage gewichen, und dafs sie ihr Maximum erreicht, wenn das Theilchen sich in seiner Gleichgewichtslage befindet.

Aus demselben Grunde sind jene Verschiebungen des schwingenden Theilchens, parallel den rechtwinkligen Richtungen OO' und EE' gemessen, auch proportional den Ausdrücken:

$$\cos i \,.\, \cos 2\pi t \text{ und } \sin i \,.\, \cos 2\pi\left(t-\frac{a}{\lambda}\right).$$

Will man die von den Theilchen beschriebene Curve

berechnen, und sie dabei auf Coordinaten, parallel mit OO' und EE' beziehen, so braucht man nur zu setzen:

$$\cos i \,.\, \cos 2\pi t = x$$

und

$$\sin i \,.\, \cos 2\pi\left(t - \frac{a}{\lambda}\right) = y$$

und die Zeit t zwischen diesen beiden Gleichungen eliminiren. Diefs giebt:

$$x^2 \sin^2 i + y^2 \cos^2 i - 2xy \sin i \cos i \,.\, \cos \frac{2\pi a}{\lambda} = \sin^2 i \cos^2 i \,.\, \sin^2 \frac{2\pi a}{\lambda}$$

die Gleichung einer Curve des zweiten Grades, bezogen auf deren Mittelpunkt. Ohne diese Gleichung zu discutiren, ist man im Voraus schon gewifs, dafs die Curve nur eine Ellipse seyn kann, weil die Excursionen des Theilchens in Richtung der x und der y die Constanten $\sin i$ und $\cos i$ zu Gränzen haben.

Diese Curve wird ein Kreis, sobald i gleich 45° ist und a eine ungerade Anzahl von Viertel-Undulationen enthält, oder, mit anderen Worten, sobald die beiden rechtwinklig gegen einander polarisirten Wellensysteme gleiche Intensität besitzen, und in ihrem Gange um eine ungerade Anzahl von Viertel-Undulationen verschieden sind. Man hat alsdann:

$$\sin i = \cos i = \sqrt{\tfrac{1}{2}}$$

$$\cos 2\pi \frac{a}{\lambda} = 0 \text{ und } \sin 2\pi \frac{a}{\lambda} = 1,$$

und diefs reducirt die obige Gleichung auf:

$$x^2 + y^2 = \tfrac{1}{2}.$$

Zu demselben Schlufs gelangt man auch leicht ohne Hülfe der allgemeinen Gleichung, wenn man erwägt, dafs, weil in diesem besonderen Fall

$$\sin i = \cos i$$

und

$$\cos 2\pi\left(t - \frac{a}{\lambda}\right) = \sin 2\pi t$$

die beiden Coordinaten

$$\cos i \cos 2\pi t \text{ und } \sin i \,.\, \cos 2\pi\left(t-\frac{a}{\lambda}\right)$$

immer proportional sind dem Sinus und dem Cosinus eines und desselben veränderlichen Winkels $2\pi t$.

Eine andere merkwürdige Eigenthümlichkeit der Oscillationsbewegung in diesem Fall besteht darin, dafs die Geschwindigkeit des Aethertheilchens gleichförmig ist. Denn die Formel (A), welche das Quadrat dieser Geschwindigkeit ausdrückt, wird:

$$\tfrac{1}{2}\sin^2 2\pi t + \tfrac{1}{2}\cos^2 2\pi t \text{ oder } = \tfrac{1}{2}.$$

Diese gleichförmige Kreisbewegung besitzen in gleicher Richtung alle Molecüle längs dem in C projicirten Strahl; allein sie nehmen auf den Kreisen, welche sie beschreiben, in gleichen Momenten nicht entsprechende Punkte ein, d. h. die Molecüle, welche sich im Zustande der Ruhe auf der in C projicirten geraden Linie befinden, bleiben, wenn sie in Schwingung gerathen, nicht auf einer Geraden, die um erstere Linie, parallel mit derselben, einen Cylinder mit kreisrunder Grundfläche beschriebe, sondern sie bilden eine Schraubenlinie, deren Radius gleich ist dem der kleinen Kreise, welche die Molecüle beschreiben, und deren Gänge gleich sind einer Undulationslänge. Denkt man sich diese Schraubenlinie mit gleichförmiger Bewegung um ihre Axe gedreht, und zwar so, dafs sie in der Zeit, während welcher eine Lichtundulation vollbracht wird, einen ganzen Umlauf macht, und nimmt man überdiefs an, dafs in jedem unendlich dünnen Schnitt senkrecht auf der Axe alle Molecüle dieselben Bewegungen wie der entsprechende Punkt der Schraubenlinie machen, und in ihren respectiven Lagen beharren, so bekommt man eine richtige Idee von der Gattung von Lichtschwingungen, für welche ich den Namen *Circularpolarisation* vorgeschlagen habe, während ich *geradlinige Polarisation* diejenige nenne, welche Huyghens zuerst bei der Doppelbrechung des Kalk-

spaths, und **Malus** bei bloſser Reflexion von der Oberfläche durchsichtiger Körper entdeckt hat.

Diese kreisförmigen Vibrationen geschehen bald von der Rechten zur Linken, bald von der Linken zur Rechten, je nachdem die Polarisationsebene des vorderen Wellensystems rechts oder links von der des hinteren Systems liegt, und dabei der Gangunterschied beider Systeme gleich ist einer Viertel-Undulation oder einer ganzen Zahl von Undulationen plus einer Viertel-Undulation. Das Umgekehrte findet statt, wenn der Gangunterschied drei Viertel-Undulationen oder eine ganze Zahl von Undulationen plus drei Viertel-Undulationen beträgt.

Gewisse brechende Mittel, wie z. B. der Bergkrystall, parallel seiner Axe, ferner Terpenthinöl, Citronenöl u. s. w, besitzen die Eigenschaft, daſs sie die von rechts nach links und die von links nach rechts gehenden Circularvibrationen nicht mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzen. Man begreift, daſs dieſs von einer eigenthümlichen Beschaffenheit des brechenden Mittels oder seiner integrirenden Molecüle herrühren kann, vermöge welcher ein Unterschied zwischen der Richtung von rechts nach links und der von links nach rechts entspringt. So z. B. würde eine schraubenförmige Lagerung der Molecüle, je nachdem sie rechts oder links gewunden wäre, solche umgekehrte Eigenschaften hervorrufen können.

Die mechanische Definition, welche wir so eben von der Circularpolarisation gegeben haben, macht begreiflich, wie die sonderbare Doppelbrechung, welche der Bergkrystall parallel seiner Axe darbietet, statt haben kann, nämlich dadurch, daſs wahrscheinlich die Anordnung der Molecüle in diesem Krystall von rechts nach links anders ist, wie von links nach rechts, so daſs der Lichtbündel, dessen Circularvibrationen von der Rechten zur Linken geschehen, eine etwas andere Elasticität oder Fortpflanzungskraft erregt als der andere Bündel, dessen Vibrationen von der Linken zur Rechten gehen.

Hier hat man einen Hauptvortheil der eben entwikkelten geometrischen Betrachtungen über die Circularvibrationen, welche aus der Combination geradliniger Vibrationen des Lichts hervorgehen. Indeſs bei Berechnung der Phänomene, welche das geradlinig oder kreisförmig polarisirte Licht nach seinem Durchgang durch die Mittel, die es modificiren, darbietet, ist es unnöthig aufzusuchen, welche krummlinigen Vibrationen aus der Vereinigung der beiden zur Krystalllamelle heraustretenden Wellensysteme entstehen. Im Gegentheil ist man gezwungen, die Circularvibrationen der beiden Wellensysteme, die zu einer senkrecht gegen die Axe geschnittenen Bergkrystallplatte heraustreten, in rechtwinklige Bewegungen zu zerlegen, wenn man die Intensitäten des ordentlichen und auſserordentlichen Bildes, welche dieses Licht beim Durchgang durch ein Kalkspath-Rhomboëder erzeugt, kennen lernen will. Die Berechnung der Intensitäten des ordentlichen und auſserordentlichen Bildes, für homogenes Licht, oder der Farben, welche das weiſse polarisirte Licht entfaltet, führt immer auf die Betrachtung geradliniger Vibrationen und auf die Anwendung der sich auf diese beziehenden Interferenzformeln.

Indem wir hier die mechanische Ursache der ganz eigenthümlichen Doppelbrechung, welche der Bergkrystall auf das parallel seiner Axe hindurchgehende Licht ausübt, nachwiesen, haben wir uns von dem Gegenstand dieser Abhandlung entfernt, denn wir wollten bloſs den Fall behandeln, wo die Partikel des vibrirenden Mittels ihre homologen Seiten in paralleler Lage haben, und demnach gleiche Anordnung von der Rechten zur Linken und von der Linken zur Rechten darbieten. Wir hoffen indeſs, daſs der Leser uns diese Abschweifung verzeihen werde; es war natürlich, aus dem über die geradlinige Polarisation Gesagten auf die Circularpolarisation zu kommen. Es ist übrigens nützlich, sich mit diesen verschiedenen Arten von Lichtschwingungen vertraut zu ma-

chen, da man sie alle bei der einfachsten Doppelbrechung, d. h. der der einaxigen Krystalle antrifft, sobald man, statt im Gedanken die ordentlichen und aufserordentlichen Wellen von einander zu trennen, die aus deren Vereinigung entspringende Gesammtwirkung betrachtet.

Nachdem ich bewiesen habe, dafs man durch das Ausbleiben der gewöhnlichen Interferenzphänomene bei der Vereinigung rechtwinklig polarisirter Strahlen nothwendig auf die Transversalität der Lichtschwingungen geführt wird, mufs ich noch zeigen, dafs diese durch die Thatsachen festgestellte Hypothese den Grundsätzen der Mechanik nicht widerspricht, und überdiefs erklären, wie solche Vibrationen sich in einer elastischen Flüssigkeit fortzupflanzen vermögen.

Möglichkeit der Fortpflanzung transversaler Vibrationen in einer elastischen Flüssigkeit.

Alle Physiker betrachten die Flüssigkeiten als Vereine von Molecülen oder materiellen Punkten, die, in Bezug auf ihre Dimensionen, durch sehr grofse Zwischenräume getrennt sind, und in dieser Trennung durch Abstofsungskräfte erhalten werden, welche anderen, aus der gegenseitigen Anziehung der Molecüle oder aus einem auf die Flüssigkeit ausgeübten Druck entspringenden Kräften das Gleichgewicht halten. Diefs gesetzt denke man sich die Molecüle so regelmäfsig geordnet wie Fig. 2 Taf. V es darstellt, und dazu eine ebene Welle von unbegränzter Ausdehnung, dessen Oberfläche parallel sey der nach *AB* projicirten Ebene. Erleidet der über dieser Ebene liegende Theil des Mittels eine kleine Verschiebung parallel der Molecül-Reihe *AMB*, so werden diese Molecüle zu einer ähnlichen Bewegung angeregt. Betrachten wir eins derselben näher, z. B. das Theilchen *M*, und untersuchen, welche Verschiebungen es durch die Wirkungen erleidet, die der obere Theil des Mittels auf dasselbe ausübt; wobei ich zuvor bemerken mufs, dafs nichts ge-

geändert wird, wenn das Molecül *M* sich in gleicher Richtung und um dieselbe Gröfse verschöbe, und dabei der obere Theil des Mittels unbeweglich bliebe. Ich nehme also an, dafs *M* in der Richtung *AB* sich um die sehr kleine Gröfse *Mm* verschoben habe. Die Theilchen *E* und *F*, die von *M* und von dem auf *AB* errichteten Perpendikel gleich weit entfernt sind, wirken auf das Theilchen *M*, vor seiner Verschiebung, gleich stark in den Richtungen *MA* und *MB*; d. h. die Componenten ihrer Wirkungen parallel *AB* zerstören einander, während die Componenten senkrecht auf *AB* sich gegenseitig verstärken, aber von den entgegengesetzten Wirkungen der unterhalb *AB* liegenden Theilchen *E'* und *F'* aufgehoben werden. Sobald der materielle Punkt *M* nach *m* gebracht ist, sind die mit *AB* parallelen Componenten der Wirkungen, welche er von *E* und *F* erleidet, im Allgemeinen nicht mehr einander gleich, und da ihre Veränderungen oder ihre Differentiale in gleichem Sinne wirken, so streben sie, den Punkt *m* in seine ursprüngliche Lage *M* zurückzuführen, wenn diese einem stabilen Gleichgewicht entspricht.

Bezeichnen wir mit $\varphi(r)$ die Wirkung, welche ein Theilchen, z. B. *E* oder *F*, in der Entfernung *r* ausübt. Nehmen wir ferner *M* zum Anfangspunkt der Coordinaten, und die Geraden *AB* und *MG* zu den Axen der x und y. Sind dann x und y die Coordinaten des Punktes *F*, so werden y und $-x$ die des Punktes *E* seyn. Die Abstände *EM* und *FM*, oder *r*, sind gleich $\sqrt{x^2+y^2}$, und folglich werden die Kräfte, welche nach *FM* und nach *EM* wirken, beide durch $\varphi(\sqrt{x^2+y^2})$ vorgestellt. Ueberdiefs ist der Sinus des Winkels *FMB* gleich $\frac{y}{\sqrt{x^2+y^2}}$ und der Cosinus $\frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}}$; mithin sind die beiden Componenten der nach *FM* gerichteten Kraft

parallel den x

$$\frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}} \cdot \varphi(\sqrt{x^2+y^2}) \text{ oder } x\psi(x^2+y^2)$$

und parallel den y

$$\frac{y}{\sqrt{x^2+y^2}} \cdot \varphi(\sqrt{x^2+y^2}) \text{ oder } y\psi(x^2+y^2).$$

wenn man als positive Richtung der den Coordinataxen parallel liegenden Kräfte diejenige nimmt, nach welcher jede dieser zwei Componenten wirkt. Eben so sind die Componenten der von E ausgeübten Wirkung respective

$$-x\psi(x^2+y^2) \text{ und } y\psi(x^2+y^2),$$

d. h. sie weichen von ersteren nur in dem Zeichen für x ab. Zur Berechnung der kleinen Gröfsen, um welche sich diese Componenten durch die Verschiebung des Punktes M verändert haben, mufs man die Ausdrücke in Bezug auf x differenziren, man findet dadurch für die Differentiale der Componenten der Kraft FM

parallel dem x

$$[\psi(x^2+y^2)+2x^2\psi'(x^2+y^2)]dx$$

parallel den y

$$2xy\psi'(x^2+y^2)dx.$$

Da der Ausdruck für die Kraft EM von dem für die Kraft FM nur im Zeichen von x verschieden ist, so kann man die Variationen der Componenten von EM einfach dadurch erhalten, dafs man in den obigen zwei Ausdrücken das Zeichen von x verändert, wohl verstanden aber, ohne das Zeichen von dx zu ändern, da diese kleine Verschiebung bei beiden Kräften in gleicher Richtung geschieht. Nun erhellt aus dem blofsen Anblick der Formeln, dafs das Differential der Componente parallel den x gleiches Zeichen wie das Differential der Kraft FM behält, und folglich dasselbe verstärkt, während das Differential der Componente parallel den y dem entsprechenden Differential der andern Kraft entgegenwirkt und

es aufhebt. Es entspringt demnach aus der kleinen Verschiebung des Punkts M, parallel AB, eine mit dieser Linie parallele Kraft, welche den Punkt in seine Gleichgewichtslage zurückzuführen strebt. Wenn also der Punkt M fest bleibt, und man den oberen Theil des Mittels parallel mit AB nur ein wenig verschiebt, so wird der Punkt M in der Richtung AB fortgetrieben, gleich allen anderen in diesem Schnitt, der demnach in seiner ganzen Ausdehnung nach der Ebene AB fortgleiten mufs. Durch die Verschiebung dieses Schnittes wird derselbe Effect auch successiv auf die parallelen Schnitte $A'B'$ und $A''B''$ u. s. w. übertragen, und so können die transversalen Vibrationen der einfallenden Welle sich in der ganzen Ausdehnung des Mittels verbreiten.

Die Kraft, welche in Folge der Verschiebung des Schnitts E und der oberen, in ihren Ebenen fortgleitenden Schnitte, den Punkt M parallel AB antreibt, entspringt daraus, dafs die materiellen Punkte nicht dicht an einander liegen. Lägen sie dicht an einander, so würde jeder Punkt M des Schnitts AB in Ruhe bleiben bei Verschiebung der oberen Schichten, da hiedurch in der Wirkung, welche diese Schichten auf den Punkt ausüben, keine Veränderung hervorgebracht werden würde. Wenn aber die Verschiebung dieser Schichten in der senkrechten Richtung GM stattfände, so wird offenbar die Contiguität der Elemente einer jeden derselben nicht verhindern können, dafs die Kraft, mit welcher sie jeden Punkt von AB zurückzustofsen suchen, zunimmt, in dem Maafse, wie die Entfernung abnimmt Mithin würde in dieser Voraussetzung zur Zusammenrückung der Schichten eine weit gröfsere Kraft erforderlich seyn, als zum Verschieben einer derselben von unendlicher Ausdehnung in ihrer eigenen Ebene.

Ohne bis zu dieser Gränze zu geben, welche ohne Zweifel nicht in der Natur angetroffen wird, kann man annehmen, dafs der Widerstand, welchen der Aether bei

einer Zusammendrückung leistet, viel gröfser ist als die Kraft, welche sich den kleinen Verschiebungen dieser Schichten in Richtung ihrer eigenen Ebenen entgegenstellt; und mittelst dieser Hypothese ist einzusehen, wie die Aethertheilchen keine anderen merklichen Oscillationen haben können als parallel der Oberfläche der Lichtwellen.

Wie es zugehe, dafs die Aethertheilchen keine beträchtliche Erschütterung in Richtung der Normale der Wellen erleiden.

Wenn wirklich der Widerstand bei der Compression gröfser ist als die Elasticität, welche durch eine blofse Verschiebung der Schichten in Thätigkeit gesetzt wird, so wird die Welle, welche durch erstere Kraft hervorgebracht wird, sich viel weiter erstrecken als die, welche, während der nämlichen Oscillation des den Aether in Erschütterung versetzenden leuchtenden Körpertheilchens, aus der zweiten entspringt. Selbst wenn demnach die kleinen Bewegungen der Aethertheilchen auf die Weise geschehen, dafs ihre lebendigen Kräfte sich gleichmäfsig unter den zwei Vibrationsarten theilen, so werden, da die lebendigen Kräfte, welche in der verdichtenden oder verdünnenden Welle enthalten sind, sich auf eine weit gröfsere Strecke des Fluidums als die der andern Welle vertheilt befinden, die mit den Strahlen parallelen Oscillationen eine weit geringere Amplitude haben, als die auf den Strahlen senkrechten Oscillationen, und folglich dem Sehnerv nur noch weit kleinere Vibrationen einprägen können; denn die Vibrationen dieses Nerven können keine gröfsere Amplitude haben als die des umgebenden Aethers.

Ueberdiefs ist einzusehen, dafs, während der Oscillation des leuchtenden Körpertheilchens, das Gleichgewicht der Spannung zwischen dem Theil des Aethers, dem sich dieses Theilchen nähert, und dem, von welchem es sich entfernt, immer so rasch wieder hergestellt wird,

dafs niemals weder eine Condensation noch eine Dilatation in beträchtlichem Grade eintreten kann, wodurch dann die Verschiebung der Aethermolecüle, welche das Körpertheilchen umgeben, auf eine oscillatorische Kreisbewegung zurückkommt.

Ich glaube hinlänglich gezeigt zu haben, dafs in der Definition von den Lichtvibrationen, zu deren Annahme ich durch die Eigenschaften der polarisirten Strahlen gezwungen worden bin, und vermöge welcher ich die wahren Gesetze der Doppelbrechung entdeckt habe, keine mechanische Absurdität eingeschlossen ist. Wenn die Gleichungen, welche die Mathematiker für die Bewegung der Flüssigkeiten aufgestellt haben, mit dieser Hypothese nicht übereinstimmen, so rührt diefs daher, dafs sie auf einer mathematischen Abstraction, der Contiguität der Elemente beruhen, welche, ohne der Wahrheit zu entsprechen, dennoch einen Theil der mechanischen Eigenschaften elastischer Flüssigkeiten darstellt, wenn man überdiefs annimmt, dafs die an einander liegenden Elemente zusammendrückbar sind. Allein gerade deshalb, weil diese Annahme keine Realität hat und eine reine Abstraction ist, darf man auch nicht erwarten, alle mechanischen Eigenschaften der Flüssigkeiten und alle Arten von Vibrationen, deren sie fähig sind, dadurch erklärt zu finden; denn so z. B. giebt es nach jenen Gleichungen zwischen zwei unendlichen Schichten, die neben einander hinweggleiten, keine Reibung. Es ist daher sehr unphilosophisch, eine Hypothese, auf welche alle Phänomene der Optik so natürlich hinweisen, blofs deshalb zu verwerfen, weil sie nicht mit jenen Gleichungen übereinstimmt.

Wodurch die transversalen Vibrationen am Ende der Wellen erlöschen.

Bisher haben wir nur unendliche Wellen betrachtet; nehmen wir sie jetzt als begränzt an, und untersuchen, was in der Annahme, dafs der Aether fast incompressi-

bel sey, an ihren Enden vorgeht. Ich nehme an, ein Theil der Welle *AE* (Fig. 3 Taf. V) sey von dem Schirm *EC* aufgefangen, und es sey *M* ein Punkt, der hinter dem Schirm liegt, in Bezug auf eine Wellenlänge in sehr grofser Entfernung. So wie der Winkel *TEM* zwischen der Geraden *EM* und dem directen Strahl *ET* nur ein wenig beträchtlich ist, wird das nach *M* gelangende Licht sehr schwach, wie es die Erfahrung lehrt und sich auch leicht aus der Theorie der Diffraction ergiebt. Wenn demnach der Winkel *TEM* etwas grofs ist, bleibt der Punkt *M* fast in Ruhe, während der Punkt *T* und der ganze Rest der Welle *ST* merkliche Oscillationen nach der Ebene *STM* vollbringen. Es scheint vielleicht, als müfsten dadurch abwechselnde Condensationen und Dilatationen des Aethers zwischen *T* und *M* entstehen; allein bemerken wir zunächst, dafs in demselben Augenblick, wo die Seite *ce* des kleinen Parallelepipeds *cdef* durch die halbe Undulation, deren Mitte *ST* entspricht, gegen *M* getrieben wird, die homologen Seiten *ck*, *eg* der beiden anstofsenden Parallelepipede sich durch die entgegengesetzten Bewegungen der beiden halben Undulationen, deren Mitten auf den Linien *st*, *s't'* liegen, von *M* entfernen, so dafs, während das Volum *cdef* abnimmt, die Volume der zwei ähnlichen Parallelepipede, zwischen denen ersteres liegt, um dieselbe Gröfse zu nehmen, und so weiter in der Richtung *kg*. Wenn demnach der Aether der Compression sehr widersteht, so ist es möglich, dafs das Gleichgewicht der Spannung sich zwischen den benachbarten, mit *gk* parallelen Elementen continuirlich und fast instantan wieder herstellt. Ueberdiefs sind die Punkte, welche während der Oscillationen der Extremitäten der Wellen in Ruhe bleiben, entfernt genug von *ET*, dafs die molecularen Verschiebungen, welche durch diese Oscillationen veranlafst werden, sehr langsam abnehmen können, bis zu den Punkten, die man als unbeweglich betrachten kann, so dafs die Conden-

sationen und Dilatationen der auf einander folgenden Schichten fast unmerklich seyn würden, selbst wenn das Gleichgewicht des Drucks sich nicht rasch von Schicht zu Schicht wieder herstellte.

Beweis der beiden statischen Theoreme, auf welchen die mechanische Erklärung der Doppelbrechung beruht.

Nachdem ich die von mir über die Lichtschwingungen angenommene Hypothese aus den Thatsachen abgeleitet und gezeigt habe, daſs sie mit den Principien der Mechanik durchaus nicht im Widerspruch steht, schreite ich zum Beweise zweier allgemeinen statischen Theoreme, auf welchen die theoretische Erklärung der mathematischen Gesetze der doppelten Strahlenbrechung beruht.

Erstes Theorem. *In jedem System von materiellen Punkten, die im Gleichgewicht stehen und nach irgend einem Gesetz auf einander wirken mögen, entspringt aus der sehr kleinen Verschiebung eines Punktes nach irgend einer Richtung, eine Abstoſsungskraft, die in Gröſse und Richtung gleich ist der Resultante dreier Abstoſsungskräfte, welche für sich durch drei auf einander rechtwinklige und den statischen Componenten der ersten Verschiebung gleiche Verschiebungen dieses Punktes hervorgebracht werden.*

Wenn in einem solchen System der materielle Punkt M (Taf. V Fig. 4) um die kleine Strecke MC verschoben, und dadurch das Gleichgewicht gestört wird, so erlangt die Resultante aller der auf diesen Punkt ausgeübten Kräfte, welche zuvor gleich Null war, einen gewissen Werth. Um diesen zu bestimmen, braucht man nur die Variationen, welche diese Kräfte in Gröſse und Richtung erlitten haben, zu berechnen, und die Resultante aller dieser Differentiale aufzusuchen. Nun betrachte man die abgesonderte Wirkung des Punktes N auf den Punkt M, nachdem dieser um die gegen den

Abstand MN beider Punkte sehr kleine Strecke MC verschoben worden ist; errichte ferner auf MN die senkrechte MS in der Ebene MCN, und ziehe CN, so ist CP die kleine Gröfse, um welche die Entfernung MN zugenommen hat, also das Differential der Entfernung, und $\frac{MP}{MN}$ der Sinus des kleinen Winkels, um welchen sich die Richtung der Kraft verändert hat. Wenn man die frühere und die neue Kraft auf zwei rechtwinklige Richtungen MR und MS bezieht, so rührt das Differential nach MR nur von dem kleinen Zuwachs CP der Entfernung her, und ist diesem proportional, während das Differential nach MS alleinig aus der Richtungsveränderung der Kraft entspringt und mit $\frac{MP}{MN}$ proportional ist, oder einfach mit MP; da die Entfernung MN dieselbe bleibt. Mithin kann das erste Differential durch $A \times CP$, und das zweite durch $B \times MP$ vorgestellt werden, wo A und B zwei Factoren sind, die, so lange es sich blofs um die von dem Punkt N ausgeübte Wirkung handelt, constant bleiben.

Ebenfalls noch die alleinige Wirkung des Punktes N betrachtend, wollen wir annehmen, es werde M successiv nach drei rechtwinkligen Richtungen verschoben, um Gröfsen, die den Projectionen von MC auf diese drei Richtungen gleich seyen; legen wir dazu durch den Punkt M eine auf MN senkrechte Ebene, welche also die der Figur, d. h. die Ebene NMC nach der Geraden MS schneidet. Die Verschiebung MC erzeugte die beiden Differential-Kräfte $A \times CP$ und $B \times MP$, die erste gerichtet nach MR, die zweite nach MS. Die Verschiebungen auf irgend drei anderen rechtwinkligen Richtungen, die wir uns im Raume gelegt denken, werden eben so jede eine Differential-Kraft parallel mit MR erzeugen, nebst einer andern, die auf dieser Linie senkrecht, also in der durch den Punkt M gelegten nor-

malen Ebene *MS* enthalten ist. Die erstere erhält man, indem man den Abstand des Molecüls in seiner neuen Lage von der normalen Ebene auch hier mit dem Coëfficienten *A* multiplicirt; und die zweite, indem man den Abstand des Punktes *M* vom Fuſse des aus dieser neuen Lage auf die normale Ebene gefällten Perpendikels mit den Coëfficienten *B* multiplicirt. Dieſs gesetzt, suchen wir die Resultante der drei mit *MR* parallelen Differential-Kräfte, welche *A* zum gemeinschaftlichen Coëfficienten haben, und die Resultante der drei, in der normalen Ebene liegenden Differential-Kräfte, welche *B* zum gemeinschaftlichen Coëfficienten haben. Da die in Rede stehenden Verschiebungen die Projectionen der Verschiebung *MC* auf die gewählten drei rechtwinkligen Richtungen sind, so muſs die Summe ihrer Projectionen auf die Richtung *MR* gleich seyn der Linie *CP*, und folglich wird die Resultante der drei mit *MR* parallelen Differential-Kräfte gleich seyn dem Producte $A \times CP$, d. h. der Kraft, welche die Verschiebung *MC* in dieser Richtung erzeugt. Es ist gleichfalls leicht zu ersehen, daſs die Resultante der drei Differential-Kräfte, die in der normalen Ebene liegen, gleich ist $B \times MP$. Denn sie haben zum Ausdruck denselben Coëfficienten *B*, multiplicirt mit den Projectionen der drei rechtwinkligen Verschiebungen auf jene Ebene. Mithin heiſst: deren Resultante suchen, nicht anders als: die statische Resultante dieser drei, als Kräfte betrachteten Verschiebungen suchen. Unter diesem Gesichtspunkt sind aber die drei rechtwinkligen Verschiebungen die statischen Componenten der Verschiebung *MC*, und folglich ihre Projectionen auf die normale Ebene *MS* die statischen Componenten von *MP*, welche also ihre Resultante ist. Mithin ist die Resultante der drei Differential-Kräfte, welche in der normalen Ebene liegen, nach *MP* gerichtet und durch $B \times MP$ vorgestellt, d. h. sie ist in Gröſse und Richtung gleich der Differential-Kraft, welche aus

der, in derselben Ebene liegenden Verschiebung MC entspringt.

Es ergiebt sich mithin als Endresultat, dafs man das Molecül M von denselben Differential-Kräften sollicitirt findet, es mag nun die Verschiebung MC erfahren haben, oder man mag annehmen, es sey successiv nach drei rechtwinkligen Richtungen, um Gröfsen, die den statischen Componenten von MC nach diesen Richtungen gleich sind, verschoben worden, und man suche nun die Resultante der aus diesen drei rechtwinkligen Verschiebungen hervorgegangene Kräfte auf.

Da dieser Satz für die vom Molecül N ausgeübte Wirkung richtig ist, so ist es derselbe auch für die, welche alle anderen Molecüle des Mittels auf M ausüben. Mithin ist es richtig zu sagen, dafs die Resultante aller aus der Verschiebung MC entspringenden kleinen Kräfte, oder die Gesammtwirkung des Mittels auf das Molecüls M nach dessen Verschiebung gleich ist der Resultante der Kräfte, welche einzeln drei rechtwinklige, den statischen Componenten der Verschiebung MC gleiche Verschiebungen hervorbringen.

Zweites Theorem. *In einem jeden, im Gleichgewicht befindlichen System von materiellen Punkten giebt es immer für jeden derselben drei rechtwinklige Richtungen, nach denen jede kleine Verschiebung dieses Punktes, indem sie die auf ihn wirkenden Kräfte etwas ändert, eine in derselben Linie wie seine Verschiebung liegende totale Resultante hervorbringt.*

Um diesen Satz zu beweisen, beziehe ich zunächst die verschiedenen Richtungen der kleinen Verschiebungen des Punktes auf drei willkührlich genommene rechtwinklige Axen, welche die Axen der Coordinaten x, y, z seyn sollen. Ich nehme an, dafs man den Punkt successiv nach diesen drei Richtungen verschiebe, und zwar um eine gleiche kleine Gröfse, die ich hier als Einheit dieser Differential-Verschiebungen nehme. Ich nenne a, b, c

die drei jenen Axen parallelen Componenten der Kraft, welche durch die den x parallele Verschiebung erregt wird; a', b', c' die drei Componenten der Kraft, welche durch die den y parallele Verschiebung erregt wird; und endlich a'', b'', c'' die drei Componenten der Kraft, welche durch die den z parallele Verschiebung erregt wird.

Um die Kraft zu erhalten, welche aus einer kleinen, gleich *eins* gesetzten Verschiebung hervorgeht nach irgend einer Richtung, welche die Winkel X, Y, Z mit den Axen der x, y und der z macht, muſs man zunächst, gemäſs dem vorhergehenden Theorem, auf diesen Axen die statischen Componenten der Verschiebung nehmen, welche respective $\cos X$, $\cos Y$ und $\cos Z$ sind, ferner die Kräfte bestimmen, welche jede dieser Verschiebungen für sich hervorbringt, und endlich die Resultante aller dieser Kräfte berechnen.

Um aber die Componenten der Kraft zu erhalten, welche durch die der Axe der x parallele Verschiebung $\cos X$ hervorgebracht wird, muſs man $\cos X$ successiv multipliciren mit den Coëfficienten a, b, c, weil sie die Componenten der durch eine Verschiebung gleich *eins* erregten Kraft vorstellen, und weil, indem es sich hier nur um sehr kleine Variationen handelt, die entwickelten Kräfte proportional sind den Längen dieser Differential-Verschiebungen.

Die Componenten der Kraft, welche aus der Verschiebung $\cos X$ hervorgeht, sind also

parallel den x . . . . $a \cos X$
- - y . . . . $b \cos X$
- - z . . . . $c \cos X$.

Eben so sind die Componenten der Kraft, welche durch die der Axe der y parallele Verschiebung $\cos Y$ erzeugt wird,

parallel den x . . . . $a' \cos Y$
- - y . . . . $b' \cos Y$
- - z . . . . $c' \cos Y$

und die Componenten der Kraft, welche durch die mit der Axe der z parallele Verschiebung $\cos Z$ erregt wird, sind analog

$$\begin{aligned} &\text{parallel den } x \ldots\ldots a'' \cos Z \\ &\quad - \quad - \quad y \ldots\ldots b'' \cos Z \\ &\quad - \quad - \quad z \ldots\ldots c'' \cos Z. \end{aligned}$$

Addirt man die Componenten, die nach gleicher Axe gerichtet sind, so hat man für die totalen Componenten

parallel den x

$$a \cos X + a' \cos Y + a'' \cos Z$$

parallel den y

$$b \cos X + b' \cos Y + b'' \cos Z$$

parallel den z

$$c \cos X + c' \cos Y + c'' \cos Z.$$

Diese Componenten bestimmen die Gröfse und Richtung der totalen Resultante.

Man könnte im ersten Augenblick glauben, die neun Constanten a, b, c, a', b', c', a'', b'', c'' seyen unabhängig von einander; allein leicht wird man einsehen, dafs zwischen ihnen eine Beziehung vorhanden ist, welche die Zahl derselben auf sechs zurückführt.

Es seyen nämlich Ax, Ay, Az (Fig. 5 Taf V) die drei rechtwinkligen Axen, nach denen das Molecül A successiv um eine sehr kleine zur Einheit genommene Gröfse verschoben werde. Es sey AP die Richtung, in deren Verlängerung sich ein anderes Molecül M befindet, das auf A wirkt, und, wie ich voraussetze, von diesem Punkt einen in Bezug auf die Gröfse der Verschiebungen, sehr beträchtlichen Abstand besitzt. Man nehme zuvörderst an, dafs A in der Richtung der x um die, der Einheit gleichen Gröfse AB verschoben werde; durch diese kleine Verschiebung wird zugleich die Richtung und die Stärke der von M auf A ausgeübten Kraft abgeändert. Fällt man vom Punkte B auf die Richtung APM den Perpendikel BQ, so ist AQ die Veränderung des Abstandes, und BQ kann als proportional der Verän-

derung der Richtung betrachtet werden. Die erste Veränderung erzeugt eine Differential-Kraft $A \times AQ$, in Richtung PM, und die zweite eine Differential-Kraft $B \times BQ$ in Richtung BQ, wo die Constanten A und B constant bleiben, so lange es sich blofs um die Wirkung des Molecüls M handelt.

Um die Richtung festzusetzen, in welcher diese Differential-Kräfte den Punkt A forttreiben, wollen wir annehmen, derselbe werde von M abgestofsen. Da die Entfernung AM um AQ verringert worden, so ist diese Wirkung verstärkt, und das Differential $A \times AQ$ wirkt in der Richtung MA. Eben so wirkt das Differential $B \times BQ$, welches aus der kleinen Richtungsveränderung der Kraft entsprungen ist, in der Richtung QB. Betrachtet man demnach für die den Coordinataxen parallelen Kräfte als positiv die Wirkung in den Richtungen Ax, Ay, Az, so wird die den x parallele Componente jenes zweiten Differentials negativ seyn, während die Componenten parallel den y und den z positiv sind, wie die drei rechtwinkligen Componenten des ersten Differentials.

Suchen wir nun die Componenten der beiden Differential-Kräfte, und zunächst die der ersten $A \times AQ$. Bezeichnen wir mit X, Y, Z die Winkel, welche die Gerade APM mit den Axen der x, der y und der z macht, so wird, da AB gleich *Eins* gesetzt worden, $AQ = \cos X$, und die nach AM gerichtete Differential-Kraft vorgestellt durch $A \cos X$; ihre Componenten sind demnach

parallel den x . . . . $A \cos^2 X$
- - y . . . . $A \cos X \cos Y$
- - z . . . . $A \cos X \cos Z$.

Berechnen wir nun die Componenten der zweiten Differential-Kraft $B \times BQ$, die nach BQ wirkt. Da $AB = 1$ und $BQ = \sin X$, so wird diese Kraft durch $B . \sin X$ vorgestellt. Ich zerlege sie zunächst in zwei andere Kräfte, gerichtet die eine nach BA und die an-

dere nach BM, senkrecht auf BA. Die erstere Componente, welche der Axe der x parallel liegt, ist gleich: $-B \sin X \times \cos ABQ$, oder: $= -B \sin^2 X$, und die zweite hat zum Werth: $B \sin X \times \sin ABQ$, oder $B \sin X \cos X$. Diese zweite Componente zerlege ich in zwei andere Kräfte, gerichtet nach EB und FB, d. h. parallel den Axen der y und der z; die erste ist gleich $B . \sin X \cos X \times \frac{BE}{BM}$, und die zweite gleich

$B . \sin X \cos X \times \frac{BF}{BM}$; allein $\frac{BE}{BM} = \frac{\cos Y}{\sin X}$, und $\frac{BF}{BM} = \frac{\cos Z}{\sin X}$; mithin werden die Werthe der Componenten parallel den y und den z respective $B . \cos X . \cos Y$ und $B . \cos X . \cos Z$. Mithin hat man für die drei Componenten der zweiten Differential-Kraft

parallel den x . . . . $-B \sin^2 X$
- - y . . . . $B \cos X \cos Y$
- - z . . . . $B \cos X \cos Z$.

Addirt man die einander parallelen Componenten der beiden Differentialkräfte, so findet man für die totalen Componenten

parallel den x

$$A \cos^2 X - B \sin^2 X$$

parallel den y

$$(A+B) \cos X \cos Y$$

parallel den z

$$(A+B) \cos X \cos Z.$$

Nimmt man nun an, der materielle Punkt A werde nach der Axe der y um eine Gröfse gleich *Eins* verschoben, so findet man eben so die folgenden Componenten

parallel den y

$$A \cos^2 Y - B \sin^2 Y$$

parallel den x

$$(A+B) \cos X \cos Y$$

parallel den z

$$(A+B)\cos Y \cos Z.$$

Und für eine gleiche Verschiebung parallel den z hat man:

parallel den z

$$A\cos^2 Z - B\sin^2 Z$$

parallel den x

$$(A+B)\cos X \cos Z$$

parallel den y

$$(A+B)\cos Y \cos Z.$$

Der bloſse Anblick der Componenten der Differential-Kräfte, welche von diesen drei kleinen Verschiebungen erregt werden, zeigt, daſs die mit den x parallele Verschiebung dieselbe Componente in Richtung der y giebt, wie die mit y parallele Verschiebung in Richtung der x, und daſs sie in Richtung der z dieselbe Componente hervorbringt, wie die mit den z parallele Verschiebung in Richtung der x; endlich, daſs die den z parallele Componente der Kraft, welche durch die in Richtung der y stattgehabte Verschiebung erregt wird, gleich ist der den y parallelen Componente der Kraft, welche durch die nach der Axe der z stattgefundene Verschiebung erregt wird; d. h. im Allgemeinen, *daſs die der einen Axe parallele Componente, welche durch eine Verschiebung nach einer der beiden andern Axen hervorgebracht wird, gleich ist derjenigen, welche parallel mit dieser Axe aus einer eben solchen Verschiebung in Richtung der ersten Axe erfolgt.*

Nachdem dieses Theorem für die gesonderte Wirkung eines jeden Molecüls M auf den Punkt A erwiesen worden, ist dasselbe auch erwiesen für die Resultante der Wirkungen, welche alle Molecüle des Mittels auf denselben Punkt ausüben; und mithin sind zwischen den neun Constanten a, b, c, a', b', c', a'', b'', c'' immer die drei Relationen: $b=a'$, $c=a''$, $c'=b''$ vorhan-

den, wodurch die Zahl der willkührlichen Constanten auf sechs zurückgeführt wird.

Wir können demnach im Allgemeinen die Componenten der drei Kräfte, welche aus drei kleinen, gleich *Eins* gesetzten und successiv in Richtung der Axen der x, der y und der z vollzogenen Verschiebungen entspringen, folgendermaſsen vorstellen:

für die Verschiebung nach der Axe der x

Componenten . . . . $a, h, g,$

parallel den . . . . $x, y, z,$

für die Verschiebung nach der Axe der y

Componenten . . . . $b, h, f,$

parallel den . . . . $y, x, z,$

und endlich für die Verschiebung nach der Axe der z

Componenten . . . . $c, g, f,$

parallel den . . . . $z, x, y.$

Die drei Componenten einer solchen Verschiebung in irgend einer Richtung, die mit der Axe der x, der y und der z respective die Winkel X, Y, Z macht, sind also:

parallel den x

$$a \cos X + h \cos Y + g \cos Z = p$$

parallel den y

$$b \cos Y + h \cos X + f \cos Z = q$$

parallel den z

$$c \cos Z + g \cos X + f \cos Y = r.$$

Ich will nun beweisen, daſs es immer eine Richtung giebt, für welche die Resultante dieser drei Componenten coincidirt mit der Richtung der Verschiebung, d. h. daſs man den Winkeln X, Y, Z reelle und solche Werthe geben kann, daſs die Resultante der drei Componenten Winkel macht mit der Axe der x, der y und der z, die respective den Winkeln X, Y, Z gleich sind; oder mit andern Worten: daſs diese drei Componenten in demselben Verhältniſs zu einander stehen, wie die Gröſsen $\cos X$, $\cos Y$, $\cos Z$.

Um die Richtung zu finden, welche dieser Bedingung

gung genügt, will ich statt der drei Unbekannten $\cos X$, $\cos Y$, $\cos Z$ (welche sich durch die Relation $1=\cos^2 X + \cos^2 Y + \cos^2 Z$ auf zwei zurückführen lassen) die Tangenten der Winkel substituiren, welche die Projectionen der Geraden auf die Ebene xz und yz mit der Axe der z macht, um die Realität der Winkel aus der der Werthe der trigonometrischen Linien, welche der Calcül giebt, ableiten zu können. Es seyen demnach $x=mz$ und $y=nz$ die Gleichungen der geraden Linie, so hat man $m=\frac{\cos X}{\cos Z}$ und $n=\frac{\cos Y}{\cos Z}$. Nun müssen die obigen drei Componenten, welche ich durch p, q und r bezeichnen werde, in demselben Verhältnisse zu einander stehen wie $\cos X$, $\cos Y$, $\cos Z$, damit der angeführten Bedingung genügt werde.

Man hat demnach:

$$\frac{p}{r}=\frac{\cos X}{\cos Z}=m \text{ und } \frac{q}{r}=\frac{\cos Y}{\cos Z}=n,$$

oder, wenn man für p, q, r ihre Werthe setzt:

$$m=\frac{a\cos X+h\cos Y+g\cos Z}{c\cos Z+g\cos X+f\cos Y}$$

$$=\frac{a\frac{\cos X}{\cos Z}+h\frac{\cos Y}{\cos Z}+g}{c+g\frac{\cos X}{\cos Z}+f\frac{\cos Y}{\cos Z}}$$

und

$$n=\frac{b\cos Y+h\cos X+f\cos Z}{c\cos Z+g\cos X+f\cos Y}$$

$$=\frac{b\frac{\cos Y}{\cos Z}+h\frac{\cos X}{\cos Z}+f}{c+g\frac{\cos X}{\cos Z}+f\frac{\cos Y}{\cos Z}}$$

oder endlich:

$$m=\frac{am+hn+g}{c+gm+fn} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

und:

$$n = \frac{bn + hm + f}{c + gm + fn} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Aus der Gleichung (2) zieht man:

$$m = \frac{-fn^2 + (b-c)n + f}{gn - h}$$

substituirt man diesen Werth von m in der Gleichung (1), und schafft die Nenner fort, so hat man:

$$\begin{aligned} & g[-fn^2 + (b-c)n + f]^2 \\ & + fn(gn-h)[-fn^2 + (b-c)n + f] \\ & + c(-a)(gn-h)[-fn^2 + (b-c)n + f] \\ & - hn(gn-h)^2 - g(gn-h)^2 = 0. \end{aligned}$$

Diese Gleichung in n, welche unter der jetzigen Gestalt vom vierten Grade zu seyn scheint, kommt auf den dritten Grad zurück, sobald man die Multiplicationen ausführt, weil dann die beiden Glieder, welche n^4 enthalten, einander aufheben. Man ist also gewifs, dafs diese Gleichung wenigstens *eine* reelle Wurzel enthält. Es giebt demnach immer einen möglichen Werth von n, folglich auch immer einen möglichen Werth von m. Mithin giebt es immer wenigstens eine Gerade, welche der Bedingung genügt, dafs aus einer kleinen Verschiebung des materiellen Punktes nach dieser Linie eine Abstofsungskraft, die Hauptresultante der Wirkung aller Molecüle, hervorgehe, deren Richtung mit der der Verschiebung zusammenfalle. Die Richtungen, welche diese Eigenschaft besitzen, nennen wir *Elasticitäts-Axen.*

Von diesem Resultate ausgehend, ist es leicht zu erweisen, dafs es noch zwei andere Elasticitäts-Axen giebt, welche auf einander und auf der erstern senkrecht stehen. Nimmt man nämlich diese für die Axe der x, so werden die mit den y und den z parallelen Componenten, welche durch eine in Richtung der x ausgeübte Verschiebung erzeugt worden sind, Null seyen. Mithin wird man haben $g=0$; $h=0$; und die Gleichungen (1) und (2) werden:

$$m(c - a + f)n = 0$$

und:

$$n^2 - \left(\frac{b-c}{f}\right)n - 1 = 0.$$

Die erste Gleichung giebt $m=0$; und die zweite giebt für n zwei Werthe, die immer reell sind, da das letzte Glied -1 eine negative Gröfse ist.

Man sieht demnach, dafs es aufser der Axe der x noch zwei Elasticitäts-Axen giebt, und dafs diese senkrecht auf der Axe der x stehen, weil für beide $m=0$ ist, d. h. ihre Projectionen auf die Ebene der xz zusammenfallen mit der Axe der z; sie stehen überdiefs senkrecht auf einander; denn das Produkt aus der Multiplication der beiden Werthe von n ist gleich dem letzten Gliede -1 der zweiten Gleichung.

Folglich giebt es immer drei unter sich rechtwinklige Elasticitäts-Axen für jeden materiellen Punkt in irgend einem Molecülarsystem, wie auch die Gesetze und die Natur der Wirkungen, welche diese Punkte auf einander ausüben, beschaffen seyn mögen.

Nimmt man an, dafs in einem homogenen Mittel die entsprechenden Seiten der Theilchen oder die homologen Linien der Moleculargruppen insgesammt einander parallel liegen, so haben die drei Elasticitäts-Axen für jeden Punkt in der ganzen Ausdehnung des Mittels gleiche Richtungen. Diefs ist der einfachste Fall einer regelmäfsigen Anordnung der Molecüle, und derjenige, welchen, nach unseren Ideen über eine regelmäfsige Krystallisation, die krystallisirten Substanzen scheinen beständig darbieten zu müssen. Indefs bietet der Bergkrystall längs seiner Säule optische Phänomene dar, die zeigen, dafs die Bedingung des Parallelismus der homologen Linien nicht in aller Strenge erfüllt ist. Man wird auch in der That leicht einsehen, dafs ohne diesen Parallelismus viele anderweitige regelmäfsige Anordnungen möglich sind; allein bis jetzt habe ich die mathematischen Gesetze der doppelten Strahlung nur in der Voraussetzung

berechnet, dafs die Elasticitäts-Axen in der ganzen Ausdehnung des vibrirenden Mittels gleiche Richtungen haben; und ich begnüge mich daher nur diesen besonderen Fall zu betrachten, den einfachsten von allen, den, welchen die meisten Krystalle darzubieten scheinen, da sich meines Wissens nur der Bergkrystall von dieser Regel ausschliefst.

Anwendung der vorhergehenden Theoreme auf die complexe Verschiebung der vibrirenden Molecüle, welche die Lichtwellen ausmachen.

Bisher haben wir nur die Verschiebung *eines* materiellen Punktes betrachtet, und dabei angenommen, alle übrigen seyen in Ruhe; ohne etwas an dem Theorem zu ändern, hätten wir auch annehmen können, das Mittel werde verschoben, und der Punkt bleibe in Ruhe. Allein die relativen Verschiebungen der Molecüle, aus denen die Vibrationen der Lichtwellen bestehen, sind zusammengesetzterer Art. Betrachten wir zuvörderst den einfachsten Fall, nämlich eine ebene Welle von unbegränzter Ausdehnung. Hier sind alle Molecüle, welche in der nämlichen Ebene, parallel mit der Wellenoberfläche, liegen, in denselben Lagen zu einander geblieben; allein sie sind in Bezug auf den übrigen Theil des schwingenden Mittels verschoben worden, oder, wenn man will, das Mittel ist in Bezug auf sie verschoben; allein hinsichtlich der verschiedenen Schichten desselben nicht um dieselbe Gröfse; die benachbarte Schicht ist am wenigsten verschoben, und die Molecüle der folgenden Schichten finden sich aus ihren Lagen, welche den der in der ersten Ebene befindlichen Molecülen entsprechen, desto mehr abgelenkt als sie entfernter sind. Alle Molecüle, welche ursprünglich in einer auf dieser Ebene oder der Wellenoberfläche senkrechten Geraden befindlich waren, werden durch die Vibrationsbewegung auf eine Sinoidalcurve versetzt, diefs- und jenseits jenes Perpen-

dikels, welcher die Axe der Curve seyn wird; die der Welle parallelen Ordinaten dieser Curve, d. h. die kleinen Verschiebungen der Molecüle, werden proportional seyn dem Sinus der entsprechenden Abscissen. Von solcher Art wird diese Curve wenigstens allemal dann seyn, wenn das leuchtende Theilchen, welches die Wellen durch eine geringe Ablenkung aus seiner Gleichgewichtslage erzeugt hat, in diese Lage durch eine der Ablenkung proportionale Kraft zurückgeführt wird.

Beschränkt man sich demnach auf die Hypothese von kleinen Bewegungen, so kann man die absolute Geschwindigkeit, welche ein Aethertheilchen nach der Zeit t besitzt, vorstellen durch die Formel:

$$u = a \sin . 2\pi \left(t - \frac{x}{\lambda} \right),$$

in welcher u diese Geschwindigkeit bezeichnet, a ein constanter von der Stärke der Vibrationen abhängiger Coëfficient ist, 2π den Kreisumfang für den Radius $=1$; ferner x die Entfernung des Aethertheilchens vom leuchtenden Punkt, λ die Länge einer Lichtwelle und t die seit Anfang der Bewegung verflossene Zeit. Nimmt man an, diese ebenen und unbegränzten Wellen würden an einer mit ihrer Oberfläche parallelen Ebene gänzlich reflectirt, d. h. die Aethertheilchen würden gezwungen, an dieser Ebene vollkommen unbeweglich zu bleiben, alsdann werden die reflectirten Wellen gleiche Intensität wie die einfallenden haben, denen sie übrigens auch parallel sind, und folglich mufs man dann in dem Ausdruck für die absoluten Geschwindigkeiten, welche diese Wellen den Aethertheilchen einprägen, den nämlichen Coëfficienten a gebrauchen. Nennt man nun z den Abstand der einfallenden Welle von der reflectirenden Fläche und c den constanten Abstand dieser Ebene von der Quelle der Bewegung, so ist der von der einfallenden Welle durchlaufene Weg $=c-z$, und der Weg, den die mit ihr zusammentreffende reflectirte Welle zurück-

gelegt hat $=c+z$. Mithin sind die Geschwindigkeiten, welche gleichzeitig einem und demselben Punkte des Aethers durch die directe und reflectirte Welle mitgetheilt werden, respective gleich

$$a \sin 2\pi\left(t-\frac{c}{\lambda}+\frac{z}{\lambda}\right) \text{ und } -a \sin 2\pi\left(t-\frac{c}{\lambda}-\frac{z}{\lambda}\right).$$

Der zweite Ausdruck muſs das Zeichen — haben, weil die Aethertheilchen gegen die reflectirende Fläche in Ruhe bleiben, also die Lichtvibrationen durch ihre Reflexion das Zeichen wechseln. Die absolute Geschwindigkeit, welche aus der Uebereinanderlage der directen und reflectirten Welle entspringt, ist also im Augenblick t

$$a\left[\sin 2\pi\left(t-\frac{c}{\lambda}+\frac{z}{\lambda}\right)-\sin 2\pi\left(t-\frac{c}{\lambda}-\frac{z}{\lambda}\right)\right],$$

welchen Ausdruck man unter die Form bringen kann:

$$2a \sin 2\pi\left(\frac{z}{\lambda}\right)\cos 2\pi\left(t-\frac{c}{\lambda}\right).$$

Dieſs ist der allgemeine Ausdruck für die absolute Geschwindigkeit, welche ein Molecül, das in der Entfernung z von der reflectirenden Welle befindlich ist, in dem Augenblick t besitzt. Er lehrt uns zunächst, daſs in gewissen Abständen von dieser Ebene, für welche $\sin 2\pi\left(\frac{z}{\lambda}\right)=0$ ist, die Aethertheilchen vollkommen unbeweglich bleiben. Nun wird $\sin 2\pi\left(\frac{z}{\lambda}\right)$ gleich Null, sobald z gleich ist Null oder einer ganzen Anzahl von $\frac{1}{2}\lambda$. Die Knoten-Ebenen, d. h. die Ebenen der Ruhe, sind also von einander und von der reflectirenden Ebene durch Intervalle gleich $\frac{1}{2}\lambda$ getrennt. Die Bäuche, d. h. die Punkte, wo die Vibrationen die gröſste Amplitude haben, befinden sich dagegen in den intermediären Lagen und in gleichen Abständen von den Knoten-Ebenen, denn $\sin 2\pi\left(\frac{z}{\lambda}\right)$ erreicht sein Maximum, wenn z gleich ist einer ungeraden Anzahl von $\frac{1}{4}\lambda$.

Die obige Formel kann auch dazu dienen, die Verschiebungen der Molecüle darzustellen, sobald man nur t in $t-90^{\circ}$, und $\cos 2\pi\left(t-\frac{c}{\lambda}\right)$ in $\sin 2\pi\left(t-\frac{c}{\lambda}\right)$ verwandelt. Sie wird alsdann:

$$y=2b\sin.2\pi\left(\frac{z}{\lambda}\right).\sin 2\pi\left(t-\frac{c}{\lambda}\right).$$

Nimmt man y zur Ordinate, die der Abscisse z entspricht, so sieht man, dafs die durch diese Gleichung dargestellte Curve die Axe der z, in allen Momenten t, immer in denselben Punkten schneidet, nämlich in den Punkten, für die $z=0$, $z=\frac{1}{2}\lambda$, $z=\lambda$, $z=\frac{3}{2}\lambda$ u. s. w. ist. Die gröfsten Ausweichungen der Molecüle oder die gröfsten Werthe von y entsprechen im Gegentheil Werthen von z, die eine ungerade Anzahl von $\frac{1}{4}\lambda$ enthalten.

Wenn man nur die Veränderungen betrachtet, welche die Curve in Folge der verschiedenen Werthe der Zeit t, von Moment zu Moment erleidet, so sieht man, dafs die Ordinaten immer dasselbe Verhältnifs zu einander behalten, wie bei den Oscillationen einer schwingenden Saite; und die vorhergehende Formel zeigt, dafs die Geschwindigkeiten, welche die Molecüle in jedem Augenblick besitzen, ebenfalls das nämliche Gesetz befolgen wie das der Elemente einer schwingenden Saite. Man kann demnach einen jeden Theil des Mittels, der zwischen zwei auf einander folgenden Knoten-Ebenen liegt, mit einer Sammlung von Saiten vergleichen, die mit ihren Enden an diesen Ebenen befestigt sind und senkrecht gegen dieselben schwingen. Die Spannung dieser Saiten bringt die nämliche Wirkung hervor, wie die Elasticität des Mittels, weil sie, wie letztere, unaufhörlich dahin strebt, die Linien, welche durch die gegen sie senkrechten kleinen Verschiebungen der Molecüle gekrümmt worden sind, wieder gerade zu biegen, und zwar mit einer Kraft, die dem Winkel der Contingenz proportional ist. Da nun die Richtung der Oscillationsbewegungen, ihr

Gesetz und das der beschleunigenden Kräfte in beiden Fällen gleich sind, so lassen sich nothwendig dieselben Regeln auf den einen, so gut wie auf den andern Fall anwenden. Nun weifs man, dafs, wenn eine schwingende Saite ihre Oscillationen immer in derselben Zeit vollbringen soll, während ihre Spannung variirt, ihre Länge proportional mit der Quadratwurzel aus ihrer Spannung wachsen mufs; mithin ist die Länge einer und derselben Art von Lichtwellen (die in allen Mitteln, welche sie durchdringen, isochron bleiben müssen) proportional der Quadratwurzel aus der Elasticität, durch welche die Molecüle des vibrirenden Mittels parallel der Oberfläche dieser Wellen angetrieben werden. Mithin ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser Wellen, *senkrecht gegen ihre Oberfläche*, proportional der Quadratwurzel aus eben jener Elasticität.

Ohne die bekannten Gesetze schwingender Saiten zu Hülfe zu ziehen, ist es leicht, den angeführten Satz unmittelbar durch geometrische Betrachtungen zu beweisen.

Es sey ABC (Fig. 6 Taf. V) die Curve, welche von einer Reihe, ursprünglich in der geraden Linie ADC liegender Molecüle des schwingenden Mittels gebildet wird. Diese Curve kann, wie wir gesehen, dargestellt werden durch die Gleichung:

$$y = 2b \sin 2\pi\left(\frac{z}{\lambda}\right) . \sin 2\pi\left(t - \frac{c}{\lambda}\right),$$

welche, wenn die Molecüle die Gränze ihrer Oscillation erreichen, übergeht in die:

$$y = 2b \sin 2\pi\left(\frac{z}{\lambda}\right).$$

In diesem Moment ist ihre Geschwindigkeit Null, und man kann ihn betrachten als den Anfang der Bewegung für die folgende Oscillation, welche hervorgebracht werden mufs durch die beschleunigenden Kräfte, die dahin streben, die Molecüle in ihre Gleichgewichtslagen zurückzuführen.

Es seyen m und m' zwei sehr nahe beim und gleich weit vom Molecüle M liegende materielle Punkte, und dx möge die constante Länge des Intervalls pP oder Pp' zweier auf einander folgender Ordinaten vorstellen. Der Unterschied zwischen den Ordinaten MP und $m'p'$ ist die Gröfse, um welche der Punkt M aus seiner ursprünglichen Lage *in Bezug auf* die Molecüle, welche in der durch m', senkrecht gegen die Axe AC der Curve gelegten Ebene befindlich sind, verschoben worden ist. Die beschleunigende Kraft, welche, in Folge dieser Verschiebung, von diesem Schnitt des Mittels auf M ausgeübt wird, ist proportional der Differenz $m'p' - MP$. Was die Molecüle betrifft, welche in der durch m, senkrecht gegen AC, gelegten Ebene liegen, so ist die aus ihrer Verschiebung entspringende Wirkung auf M ebenfalls der Gröfse dieser Verschiebung $MP - mp$ proportional; allein sie wirkt in Richtung wie die andere beschleunigende Kraft, so dafs die definitive Wirkung dieser beiden gleichabständigen Schnitte auf das Molecül M proportional seyn wird der Differenz der beiden relativen Verschiebungen, d. h. proportional d^2y, wenn der Abstand Mp oder Mp' sehr klein ist in Bezug auf die Länge einer Undulation.

Differentiirt man den Werth von y zwei Mal hinter einander, so findet man:

$$d^2y = -8b \,.\, \frac{\pi^2}{\lambda^2} \sin\left(2\pi \frac{z}{\lambda}\right) dz^2.$$

Mithin sind die beschleunigenden Kräfte, und folglich die jedem Punkt der Curve ABC eingeprägten Geschwindigkeiten im Moment, wo die Oscillation wieder beginnt, proportional den correspondirenden Ordinaten, folglich stehen auch die kleinen Räume, welche im ersten Augenblick durchlaufen werden, ebenfalls in demselben Verhältnifs, und sie ändern die Natur der Curve nicht ab. Mithin sind die neuen beschleunigenden Kräfte, auch nach dem ersten Augenblick dt, noch proportional

den correspondirenden Ordinaten, und da dasselbe von den erlangten Geschwindigkeiten gilt, so stehen die während des zweiten Augenblicks durchlaufenen Räume unter sich gleichfalls in demselben Verhältnifs. Dasselbe gilt von dem dritten, vierten u. s. w. Augenblick. Folglich gelangen alle Punkte der Curve AMC gleichzeitig auf der Geraden ADC an, entfernen sich darauf von derselben um gleiche Gröfsen, wie bei ihrer ersten Ausbiegung, um dann wieder eine Oscillation in entgegengesetzter Richtung anzufangen. Man sieht, dafs das Gesetz für diese Vibrationen dem für die kleinen Pendelschwingungen ähnlich ist, weil die beschleunigende Kraft, die jeden materiellen Punkt antreibt, immer proportional ist dem Raum, welcher ihm noch zu durchlaufen übrig bleibt, um in seiner Gleichgewichtslage anzulangen. Mithin verhält sich die Dauer der Vibrationen umgekehrt wie die Quadratwurzel aus der Elasticität des Mittels, welche Elasticität in dem Fall, der uns beschäftigt, gemessen wird durch die Stärke der Kraft, die aus den relativen Verschiebungen der parallelen Schnitte des Mittels entspringt, diese Verschiebungen als gleich gesetzt einer kleinen constanten und zur Einheit angenommenen Gröfse.

Es ist auch leicht zu sehen, dafs die Dauer der Oscillationen des Punktes M proportional seyn wird der Undulationslänge λ. Um die, verschiedenen Werthen von λ entsprechende Dauer der Oscillationen zu vergleichen, mufs man nämlich dz immer als constant annehmen, damit, bei gleichen Entfernungen, die Molecular-Actionen und die zu bewegenden Massen auf beiden Seiten ähnlich seyen. Substituirt man in dem Werth von d^2y statt $\sin 2\pi\frac{z}{\lambda}$ seinen Werth, so hat man:

$$d^2y = -4\frac{\pi^2}{\lambda^2}y\,.\,dz^2.$$

Bei Gleichheit der Elasticität des vibrirenden Mittels mifst d^2y die Stärke der Kraft, welche den Punkt

M nach *P* zurückzuführen strebt, und *y* ist der Raum, den dieser Punkt durchlaufen mufs. Für gleiche Ausweichungen des Punktes *M* ist also die beschleunigende Kraft proportional mit $\frac{1}{\lambda^2}$, also die Dauer seiner Oscillation proportional mit λ. Die Dauer der Vibrationen der Concamerationen ist folglich proportional: $\frac{\lambda}{\sqrt{\varepsilon}}$, wenn ε die Elasticität des Mittels vorstellt. Da nun diese Dauer für die nämlichen Lichtwellen constant bleiben mufs, durch welches Mittel sie auch gehen, so mufs die Undulationslänge λ oder die Fortpflanzungsgeschwindigkeit proportional seyn der Quadratwurzel aus der in Thätigkeit gesetzten Elasticität. Man braucht daher nur zu bestimmen, nach welchem Gesetze diese Elasticität in einem und demselben Mittel variirt, um alle möglichen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Lichts in diesem Mittel kennen zu lernen.

Das Gesetz, welches ich für den Fall gefunden habe, dafs die Elasticitäts-Axen in der ganzen Ausdehnung des Mittels parallele Richtungen haben, beruht auf den beiden vorhin bewiesenen allgemeinen statischen Theoremen und auf den folgenden Satz: *Die Elasticität, welche durch die relativen Verschiebungen der Molecüle in Thätigkeit gesetzt wird, bleibt in demselben Mittel immer gleich, so lange die Richtung dieser Verschiebungen nicht geändert wird, welche Richtung übrigens auch die Ebene der Welle haben mag.* Ich will nun den theoretischen Grund dieses Satzes entwickeln, von dessen Richtigkeit ich mich übrigens durch sehr genaue Versuche überzeugt habe.

Die Elasticität, welche durch die Lichtvibrationen entwickelt wird, hängt nur von der Richtung dieser Vibrationen und nicht von der der Wellen ab.

Betrachten wir die Molecüle, welche in einer mit der Wellenoberfläche parallelen Ebene liegen; sie werden immer dieselben Lagen zu einander behalten, und die Resultante der Wirkungen aller auf eins von ihnen, wird diesem keine Bewegung einzuprägen trachten. Diefs gilt nicht mehr von der folgenden Schicht des Mittels; sie, die sich in Bezug auf jenes Molecül nicht mehr in ihrer Gleichgewichtslage befindet, erleidet, parallel der Wellenfläche, eine kleine Wirkung von demselben. Fahren wir fort, das schwingende Mittel auf diese Weise durch parallele, sehr nahe an und gleich weit von einander liegende Ebenen zu zerschneiden, so werden, in dem Maafse als diese Ebenen von der ersten entfernt sind, die in ihnen enthaltenen Molecüle weiter abgelenkt seyn aus ihrer ursprünglichen Lage in Bezug auf den materiellen Punkt, den wir betrachten; allein dieser Effect wird mehr als aufgewogen durch die aus der Vergröfserung des Abstandes entspringende Schwächung der Kräfte, und er hört auf, merklich zu seyn in einer gewissen Entfernung, die, ohne dafs sie gegen eine Wellenlänge gerade ganz zu vernachlässigen wäre, doch nur einen sehr kleinen Theil derselben betragen kann. Nach welchem Gesetze nun auch die Molecular-Actionen mit der Entfernung variiren, so ist doch die Annahme natürlich, dafs dieses Gesetz in einem und demselben Mittel nach allen Richtungen gleich bleibe. Ich will damit nicht sagen, dafs alle Molecüle, welche in gleicher Entfernung von dem materiellen Punkt liegen, auf diesen nach allen Richtungen gleiche Repulsionen ausüben; sondern nur: dafs diese Repulsionen, obwohl sie ungleich sind, auf gleiche Weise mit der Entfernung variiren. Nimmt man diese, durch ihre Einfachheit sehr wahrscheinliche Hypothese an, so ergiebt sich daraus, wie mir scheint, dafs

die Elasticität, welche durch die kleinen Verschiebungen der Molecüle in Thätigkeit gesetzt wird, sich nicht ändert, so lange die Richtung und die Gröfse dieser Verschiebungen in gleicher Entfernung von der Wellenoberfläche gleich bleiben, wie auch übrigens die Richtung dieser Fläche seyn mag.

In der That nehmen wir an, dafs die Molecular-Verschiebungen immer parallel der nämlichen Richtung geschehen, und betrachten wir zwei nach dieser Richtung gelegte Ebenen als successive Repräsentanten der Wellenfläche in diesen beiden Lagen. Theilen wir das vibrirende Mittel in unzählig viele dünne und gleich weit von einander stehende Schichten, anfänglich parallel der ersten Ebene und dann parallel der zweiten. Nennen wir ferner δ die kleine Gröfse, um welche der zweite Schnitt oder die zweite Reihe der Molecüle abgelenkt ist, in Bezug auf die in der Ausgangs-Ebene enthaltene, so werden die Molecüle, welche ursprünglich in geraden, auf dieser Ebene senkrechten Linien lagen, jetzt, vermöge der Schwingungsbewegung, krumme Linien bilden, und die Verschiebungen sind in den Schichten, die nahe genug liegen, um eine merkbare Wirkung auszuüben, sehr nahe proportional den Quadraten der Entfernungen von der Ausgangs-Ebene. Mithin wird 4δ die Gröfse seyn, um welche die Molecüle der dritten Reihe in Bezug auf die der Ausgangs-Ebene verschoben sind, und eben so werden 9δ, 16δ u. s. w. die Verschiebungen in den folgenden Reihen seyn. Wohl verstanden, wir setzen ähnliche Verschiebungen an der andern Seite jener Ebene voraus.

Wenn alle diese Verschiebungen, statt mit der Entfernung zu wachsen, gleich δ wären, so würde die in Thätigkeit gesetzte Elasticität dieselbe seyn wie im Fall, wo das Mittel unbeweglich bliebe, und blofs die in jener Ebene enthaltenen Molecüle um die kleine Gröfse δ verschoben würden. Man wird überdiefs bemerken, dafs,

wenn nur eins dieser Molecüle aus seiner Gleichgewichtslage verschoben worden wäre, die Richtung der in Rede stehenden Ebene keinen Einfluſs gehabt hätte auf die Kraft, der es unterworfen seyn würde.

Bezeichnen wir diese Kraft mit F; sie ist die Summe der Actionen, welche die gesammten Schichten des Mittels auf das fest gebliebene Molecül ausüben. Um von diesem Fall zu dem vorhin betrachteten überzugehen, muſs man die Wirkung der ersten Schicht mit Null multipliciren, die der zweiten mit 1, die der dritten mit 4, die der vierten mit 9 u. s. w., weil in diesem Fall die erste Schicht ihre Lage nicht geändert hat, ferner die zweite um die Gröſse δ, die dritte um 4δ, die vierte um 9δ u. s. w. verschoben worden ist. Die nämliche Progression wird man übrigens haben, welche Lage auch die Ebene der Welle besitzt. Mithin wird man immer die einzelnen Wirkungen der in gleichem Rang liegenden Schichten durch die nämlichen Zahlen multipliciren müssen, wenn man die Gröſse der Verschiebung dieser Schichten berechnen will. Ueberdieſs sind die Coëfficienten, welche von dem Abstande einer jeden Schicht von dem unbeweglichen Molecül abhangen, ebenfalls dieselben bei gleichem Abstande, wenn man, wie wir gethan, annimmt, daſs die Molecular-Actionen nach allen Richtungen gemäſs einer und derselben Function des Abstandes abnehmen. Die gesammte Zahlenreihe, mit der man F multipliciren muſs, um die aus der Undulationsbewegung entspringende Elasticitätskraft zu erhalten, bleibt demnach constant für die verschiedenen Richtungen der parallelen Schichten oder der Wellenebene, und diese Kraft hängt nur von der Richtung der Molecular-Verschiebungen ab.

Anwendung der vorhergehenden Sätze auf Mittel, in deren ganzen Ausdehnung die Elasticitäts-Axen gleiche Richtung behalten.

Nimmt man den Satz an, dessen theoretische Wahrscheinlichkeit ich so eben erwiesen, und dessen Richtigkeit ich überdiefs durch sehr genaue Versuche über die Geschwindigkeit des Lichts im Topase geprüft habe, so wird es leicht, die Elasticitäten zu vergleichen, welche von zwei Vibrationsbewegungen, die verschiedene Richtungen besitzen und zweien irgend einen Winkel mit einander machenden Systemen von Lichtwellen angehören, in Thätigkeit gesetzt werden. Dazu braucht man nur zuvörderst die von dem ersten System entwickelte Elasticität zu vergleichen mit der Elasticität, welche von den zwar noch in seiner Ebene, aber den Durchschnittsebenen beider Wellensysteme parallel liegenden Vibrationen entwickelt werden, darauf, unter Beibehaltung der Richtung dieser neuen Verschiebungen, die Ebene der Wellen zu verändern, und nun in dem zweiten Wellensystem die Elasticität, welche sie entwickeln, mit der zu vergleichen, welche von den Vibrationen des zweiten Wellensystems erregt wird. Mit einem Wort, da die Variationen in der Neigung der Wellenfläche gegen die Axen des vibrirenden Mittels, so lange als die Richtung der Molecular-Verschiebungen dieselbe bleibt, keine Veränderung in der Elasticitätskraft hervorbringen, so reducirt sich das Problem immer auf eine Vergleichung derjenigen Elasticitäten, die zwei Wellensysteme, deren Flächen parallel sind, und deren Vibrationen irgend einen Winkel mit einander machen, in Thätigkeit setzen.

Die Elasticitäten, erregt von zwei ähnlichen Wellensystemen, die in Betreff ihrer Flächen zusammenfallen, deren Vibrationen aber verschiedene Richtungen besitzen, verhalten sich offenbar wie die Kräfte, welche durch zwei successive Verschiebungen eines einzigen Molecüls nach der ersten und nach der zweiten Richtung erzeugt wer-

den. Betrachten wir nämlich den Schnitt, der sich in der ursprünglichen Gleichgewichtslage befindet, und in Bezug auf welchen die parallelen Schichten verschoben worden, so sind es in beiden Fällen die nämlichen Schnitte des Mittels, welche verschoben wurden, zwar um gleiche Gröfsen, aber in zwei verschiedenen Richtungen. Betrachtet man nun diese beiden Verschiebungsarten, so kann man auf die Einwirkung, die jedes Molecül des unbeweglichen Schnitts durch ein Molecül der andern Schnitte erfährt, diejenigen Theoreme anwenden, welche wir für die Wirkung irgend eines Molecular-Systems auf ein etwas aus seiner Gleichgewichtslage abgelenktes Molecül erwiesen haben, weil dieses auf dasselbe hinausläuft, wie wenn man dieses Molecül fest gelassen, und alle übrigen Molecüle des Systems um eine gleiche Gröfse verschoben hätte. Man kann also nach diesen Theoremen die von irgend einer Schicht auf die feste Schicht ausgeübte Wirkung berechnen und vergleichen, und die Wirkungen der übrigen Schichten werden in demselben Verhältnifs stehen, weil ihre Verschiebungen als gleich in beiden Fällen angenommen wurden. Die Elasticitäten, welche von zwei Wellenbewegungen in Thätigkeit gesetzt werden, verhalten sich also zu einander wie die Elasticitäten, welche durch zwei successive Verschiebungen eines einzigen Molecüls nach gleichen Richtungen erregt werden, und man kann auf die complexen Verschiebungen, welche aus Lichtwellen entspringen, die Sätze anwenden, welche vorhin bewiesen wurden für den Fall, wo *ein* Molecül aus seiner Gleichgewichtslage abgelenkt ist, und alle übrigen fest geblieben sind.

Diefs gesetzt, seyen die drei Elasticitäts-Axen des schwingenden Mittels zu Coordinat-Axen angenommen, und durch a^2, b^2, c^2 die Elasticitäten vorgestellt, welche durch die mit den x, den y und den z parallelen Vibrationen entwickelt werden, so dafs die correspondirenden Fortpflanzungsgeschwindigkeiten, welche den Quadrat-

dratwurzeln aus den Elasticitäten proportional sind, durch *a*, *b*, *c* vorgestellt werden. Wir wollen nun die Elasticitätskraft bestimmen, die aus dergleichen Schwingungen entspringt, wenn diese einer Richtung parallel gehen, die mit jenen Axen die Winkel *X*, *Y*, *Z* macht. Zur Einheit nehme ich die Amplitude dieser Vibrationen oder den constanten Coëfficienten der relativen Verschiebungen der parallelen Schichten des Mittels; denn um die Elasticitäten zu vergleichen, mufs man die aus gleichen Verschiebungen entspringenden Kräfte vergleichen. Ist dieser Coëfficient $=1$, so sind die Coëfficienten der den *x*, *y*, *z* parallelen Componenten: $\cos X$, $\cos Y$, $\cos Z$. Man weifs überdiefs, dafs diese Kräfte, zufolge der charakteristischen Eigenschaft der Elasticitätsaxen, dieselben Richtungen haben. Nennt man demnach *f* die Resultante dieser drei Kräfte, so hat man:

$$f=\sqrt{a^4\cos^2 X+b^4\cos^2 Y+c^4\cos^2 Z}$$

und die Cosinus der Winkel, welche diese Resultante mit der Axe der *x*, der *y* und der *z* macht, sind:

$$\frac{a^2\cos X}{f};\quad \frac{b^2\cos Y}{f};\quad \frac{c^2\cos Z}{f}.$$

Man sieht, dafs im Allgemeinen diese Resultante nicht gleiche Richtung hat mit den Verschiebungen, durch welche dieselbe erzeugt wurde. Allein man kann sie immer in zwei andere Kräfte zerlegen, die eine parallel und die andere senkrecht gegen die Richtung der Verschiebungen. Steht die zweite Kraft zugleich auch senkrecht auf der Wellenebene, so hat sie keinen Einflufs auf die Fortpflanzung der Lichtvibrationen, weil zufolge unserer Fundamental-Hypothese die Lichtvibrationen *alleinig* in Richtung der Wellenoberfläche vor sich gehen. Wir werden uns bemühen, alle Rechnungen über Fortpflanzungsgeschwindigkeiten auf diesen Fall zurückzuführen, und deshalb werden wir uns beschränken, nur die den Verschiebungen parallele Componente zu bestimmen.

Die Winkel, welche diese Richtung mit den Axen

macht, sind: X, Y, Z; die Cosinus der Winkel, welche dieselben Axen mit der Resultante machen, sind:

$$\frac{a^2 \cos X}{f}, \quad \frac{b^2 \cos Y}{f}, \quad \frac{c^2 \cos Z}{f};$$

folglich ist der Cosinus des Winkels, welchen die Resultante mit der Richtung der Verschiebung macht, gleich:

$$\frac{a^2 \cos^2 X + b^2 \cos^2 Y + c^2 \cos^2 Z}{f}$$

Nun mufs man diesen Cosinus mit der Kraft f multipliciren, um die dieser Richtung parallele Componente zu erhalten; folglich ist die gesuchte Componente gleich:

$$a^2 \cos^2 X + b^2 \cos^2 Y + c^2 \cos^2 Z.$$

Bezeichnet man diese Componente der Elasticitätskraft mit v^2, damit die zugehörige Fortpflanzungsgeschwindigkeit durch v vorgestellt werden könne, so hat man:

$$v^2 = a^2 \cos^2 X + b^2 \cos^2 Y + c^2 \cos^2 Z.$$

(Schlufs im nächsten Hefte.)

Berichtigung.

S. 404, nach Zeile 6 von unten, ist einzuschalten:

Denn es ist natürlich anzunehmen, dafs die Intensität des Gesichtseindrucks abhängt von der Amplitude der Vibrationen des optischen Nervs, und dafs mithin der Eindruck, den die auf den Wellen senkrechten Vibrationen auf das Auge machen, fast Null ist gegen den, welche die mit der Wellenfläche parallelen Vibrationen hervorbringen.

VII. *Ueber eine neue Zerlegung des Sonnenlichts, die in drei Grundfarben, welche coincidirende Spectra von gleicher Länge bilden;* von Dr. D. Brewster.

(Auszug aus dem *Edinb. Journ. of Science N. S. Vol. V. p.* 197.)

Die Ansichten, welche der Verfasser in diesem Aufsatze gegen die herrschende Lehre zu vertheidigen sucht, sind folgende:

1) Das weiſse Licht besteht aus *drei* einfachen Farben, *Roth*, *Gelb*, *Blau*, durch deren Vermischung alle übrigen Farben gebildet werden.

2) Das Sonnenspectrum, es mag nun durch Prismen aus durchsichtigen Körpern oder durch Ritze in metallischen und durchsichtigen Oberflächen gebildet worden seyn, besteht aus drei gleich langen Spectris, einem *rothen*, einem *gelben* und einem *blauen*, welche an denselben Punkten anfangen und endigen.

3) Alle Farben des Sonnenspectrums sind zusammengesetzt; jede derselben besteht aus *Roth*, *Gelb* und *Blau* in verschiedenem Verhältnisse.

4) Eine gewisse Menge *weiſsen* Lichts, die unzersetzbar durch das Prisma ist, weil alle Strahlen, aus denen dieselbe besteht, gleiche Brechbarkeit haben, ist in jedem Punkt des Spectrums vorhanden, und kann an einigen derselben isolirt dargestellt werden.

Zur Aufstellung dieser Sätze fühlt sich der Verfasser durch nachstehende Erfahrungen berechtigt.

Aus dem bloſsen Anblick des Spectrums, sagt derselbe, ist ersichtlich, daſs in dem *rothen*, *orangefarbenen* und *violetten* Felde desselben *rothes* Licht vorhan-

den ist; da nun diese drei Felder, nach Fraunhofer's Messungen, 190 Theile einnehmen, wenn das ganze Spectrum deren 360 mifst, so finden sich rothe Strahlen in mehr als der Hälfte des ganzen Spectrums. Untersucht man das *blaue* und *indigfarbene* Feld durch gewisse gelbe Flüssigkeiten, z. B. durch *Olivenöl,* so bekommen sie eine deutlich violette Farbe, woraus folgt, dafs diese Flüssigkeiten gewisse Strahlen, die das Roth neutralisirten oder maskirten, absorbirt haben. *Rothes* Licht ist also in dem *blauen* und *indigfarbenen* Felde vorhanden, und da ich weiterhin zeigen werde, dafs weifses Licht, welches doch nothwendig Roth enthält, sowohl aus dem grünen, wie aus dem gelben Felde abgeschieden werden kann, so folgt, dafs in allen sieben Farbenfeldern, in welche sich das Spectrum theilen läfst, rothes Licht anwesend ist.

Gelbes Licht unterscheidet das Auge deutlich in dem *orangefarbenen*, *gelben* und *grünen* Felde, welche zusammen 77 Theile von 360, der ganzen Länge des Spectrums, einnehmen. Wird das Spectrum mit einem dunkelblauen Glase untersucht, so sieht man das grüne Licht deutlich an der Fraunhofer'schen Linie *F*, und da eine grüne durchsichtige Oblate von Fischleim eine weifse Zone jenseits *F*, in dem blauen Felde, hervorbringt, so ist klar, dafs dort eine gewisse Portion von gelben Licht vorhanden seyn mufs. Wir haben bereits gesehen, dafs die Wirkung des Olivenöls gewisse Strahlen des blauen und indigfarbenen Feldes absorbirt, und eine violette Farbe zurückläfst. Diese Strahlen können nicht roth seyn, auch nicht blau, weil, wenn Blau von Blau fortgenommen wird, kein Violett zurückbleibt. Es mufs demnach eine Portion gelber Strahlen absorbirt worden seyn, welche, indem sie mit dem Roth und einer gewissen Portion Blau, weifses Licht bildete, das vorwaltende Blau verdünnt hatte.

Das Daseyn gelber und rother Strahlen in dem blauen

und indigfarbenen Felde kann auch aus einem andern Versuch hergeleitet werden.

Wenn man das Spectrum durch die blaue Lösung des schwefelsauren Kupferoxyd-Ammoniaks, in einer Schicht von gewisser Dicke genommen, betrachtet, so erscheint das blaue und das indigfarbene Feld sehr verdünnt mit weifsem Licht, d. h. das Blaue erscheint gemischt mit Roth und Gelb. Wenn nun das anscheinend verdünnte Blau rein und homogen wäre, weder Roth noch Gelb enthielte, so würde es bei einem abermaligen Durchgang durch die genannte Lösung keine weitere Schwächung erleiden, als weifses Licht beim Durchgange durch eine so dicke Schicht von der Lösung oder von Wasser, d. h. es würde keine wahrnehmbare Veränderung erfahren. Allein das Blau wird, wenn man es durch die Kupferlösung gehen läfst, dunkler und weniger weifs, was nur davon herrühren kann, dafs die rothen und gelben Strahlen, welche seine scheinbare Weifse bewirkten, absorbirt worden sind. Um die Kraft dieses Beweisgrundes einzusehen, mufs man erwägen, dafs dunkelrothe oder dunkelblaue Flüssigkeiten, wiewohl sie im weifsen Lichte, von welchem erstere alle Strahlen bis auf die rothen, und letztere alle bis auf die blauen absorbiren, undurchsichtig erscheinen, doch die einen im rothen, und die andern im blauen Lichte, welches sie frei hindurchlassen, vollkommen durchsichtig sind. Nichts ist merkwürdiger für die, welche diesen Versuch zuerst anstellen, als die unwahrnehmbare Verringerung der Intensität eines homogenen rothen Lichtbündels beim Durchgange durch eine sehr dicke Schicht einer rothen Flüssigkeit, besonders wenn man diesen rothen Lichtbündel mittelst des Durchgangs von weifsem Licht durch die nämliche rothe Flüssigkeit hervorgebracht hat. Hievon rührt es her, dafs der Portwein in einem Weinglase, das mit ihm gefüllt ist, fast eben so dunkel aussieht, als in dem dicksten Theile der Karaffe.

Daſs es *gelbes* Licht in jedem Theile des rothen Feldes giebt, kann durch zahlreiche Versuche erwiesen werden. Gebraucht man ein Prisma von Portwein von 90°, oder betrachtet man das Spectrum durch eine zweckmäſsig dicke Schicht von Schwefelbalsam, Peru-Balsam, Pech oder rothem Glimmer, so kann man *gelbes* Licht deutlich bei der Linie sehen, die Fraunhofer mit *C* bezeichnet hat, und die weit hinein in dem rothen Felde liegt; durch die Absorptionskraft der vier letzten Substanzen erhält das ganze rothe Feld eine *gelbliche* Farbe, in Folge der Absorption des *blauen* Lichts.

Ganz dieselbe Wirkung, indeſs in einer noch auffallenderen Weise, wird hervorgebracht, wenn man das Licht des rothen Feldes durch gewisse gelbe, orangefarbene und grüne durchsichtige Oblaten betrachtet, da alle diese eine Portion *blauen* Lichts absorbiren, und das rothe Feld mit einer Orangenfarbe, also Gelb enthaltenden Farbe, zurücklassen.

Zur Stütze der Meinung, daſs gelbe Strahlen in jedem Theile des rothen Feldes vorhanden sind, muſs ich eine Erfahrung von W. Herschel (*Phil. Transact. f.* 1800, *Vol. XC. p.* 255.) anführen, die er zufällig machte, als er das von glatt abgedrehtem Messing reflectirte prismatische Spectrum betrachtete. »Die Farbe des Messings, sagt er, macht die rothen Strahlen den orangefarbenen ähnlich, und auch die orangefarbenen erscheinen anders als sie sollten.«

Aus diesen Beobachtungen folgt, daſs sich gelbes Licht in allen Farbenfeldern des Spectrums nachweisen läſst, mit Ausnahme des violetten, worin ich es nicht habe entdecken können; dieſs kann indeſs nicht auffallend erscheinen, wenn man bedenkt, wie schwach die violetten Strahlen sind, und wie leicht sie durch Mittel von fast allen Farben absorbirt werden. Selbst die dunkelblaue Lösung des Kupfer-Ammoniaks absorbirt das violette Feld fast ganz, und das durch Smalte blau gefärbte Glas

beinah zur Hälfte, so dafs es ungemein schwierig ist, dasselbe der partiellen Wirkung absorbirender Media zu unterwerfen.

Es ist, schon dem blofsen Auge, klar, dafs blaues Licht in dem violetten, indigfarbenen, blauen und grünen Felde, welche zusammen $\frac{247}{360}$, oder mehr als zwei Drittel des ganzen Spectrums einnehmen, vorhanden ist. Nachdem die brechbarsten Strahlen durch eine zweckmäfsig dicke Schicht von Schwefelbalsam, Peru-Balsam, Pech oder rothem Glimmer absorbirt worden sind, läfst sich das Blau, gemischt mit Gelb und dadurch Grün bildend, entdecken sehr nahe bei der Fraunhofer'schen Linie C, die weit hinein innerhalb des rothen Feldes liegt. Dafs das Blau sich über das ganze rothe Feld erstreckt, wird durch dieselben Gründe bewiesen, welche wir für das Gelb anwandten. Denn, wenn das rothe Feld durch die absorbirende Wirkung gewisser gelber, orangefarbener und grüner Media, orangefarben wird, so kann diefs nur durch die Absorption von blauem Licht hervorgebracht worden seyn.

Nachdem ich solchergestalt bewiesen habe, dafs *rothes*, *gelbes* und *blaues* Licht in fast jedem Theile des Spectrums vorhanden ist, werde ich den Beweis noch dadurch verstärken, dafs ich zeige, dafs an verschiedenen Stellen des Spectrums wirklich weifses Licht abgeschieden werden kann.

Betrachtet man das Spectrum mit einem besonderen blauen Glase von gewisser Dicke, so isolirt man das *gelbe* Feld, das reich Gummiguttfarben erscheint. Vermehrt man die Dicke des Glases, so erlangt diefs zusammengesetzte Gelb die Strohfarbe der monochromatischen Flamme, welche durch Verbrennung eines wäfsrigen Alkohols oder einer Lösung des Kochsalzes in Alkohol entsteht. Bei noch gröfserer Dicke des Glases entsteht eine *grünlichweifse* Zone, welche, wenn man ein anderes blaues Glas nimmt, *röthlichweifs* wird. Vermischt man

nun die blaue Kupfer-Ammoniak-Lösung, welche auf die Strahlen der *rothen* Seite des gelben Feldes wirkt, mit verdünnter *rother* Dinte, welche auf die Strahlen der *blauen* Seite des nämlichen Feldes wirkt, so werden die Strahlen des gelben Feldes fast in *weifses* Licht verwandelt, dem nur wenig *Grün* beigemischt ist, wenn die Kupferlösung zu sehr vorwaltete, und ein schwaches *Roth*, wenn man der rothen Dinte zu viel genommen hat. Diese Abscheidung des weifsen Lichts gelingt bei alleiniger Anwendung gewisser durch Smalte gefärbter Gläser vortrefflich; in gewissen Fällen kann die Reinheit des Lichts durch eine Lösung vom schwefelsauren Kupfer und Eisen oder auch durch ein grünes Glas erhöht werden. Das so erhaltene *weifse* Licht kann mittelst *gelber* durchsichtiger Oblaten, welche einige seiner *blauen* Strahlen absorbiren, *gelb*, und durch dergleichen *grüne* Oblaten, die einige seiner *rothen* Strahlen verschlucken, *grün* gemacht werden.

Aus diesen Versuchen folgt, dafs *weifses* Licht, bestehend aus *rothen*, *gelben* und *blauen* Strahlen, in dem leuchtendsten Theil des Spectrums vorhanden ist, und dafs es durch Absorption des Ueberschusses vom Gelb und jeder andern Farbe, die in gröfserer, als zur Zusammensetzung des weifsen Lichts gehöriger Menge da ist, abgeschieden werden kann. Bei Anwendung eines Prisma's von starker Dispersionskraft, war es eine sonderbare und interessante Erscheinung, zum ersten Male einen Bündel weifsen Lichts zu sehen, der aus *rothen*, *gelben* und *blauen* Strahlen von gleicher Brechbarkeit bestand, und deshalb durch das Prisma nicht weiter zerlegt werden konnte.

Das Vorhergehende enthält nur wenige der vielen Versuche, welche ich über die absorbirende Wirkung natürlicher und künstlicher Krystalle, mehrerer Flüssigkeiten und unkrystallisirter Körper, die entweder an sich farbig oder künstlich gefärbt waren, angestellt habe.

Im Laufe dieses Winters habe ich einige Versuche mit den farbigen Säften mehrerer Treibhaus-Pflanzen angestellt, und ich hoffe hiedurch während dieses Sommers eine noch auffallendere Isolirung gewisser einfacher Farben zu erlangen. Durch ein anderes Verfahren, welches in einer künftigen Abhandlung beschrieben werden wird, ist es mir gelungen, aus dem *orangefarbenen* und *grünen* Felde des Sonnenlichtspectrums weifses Licht zu isoliren, und so von der Eigenthümlichkeit der Zerlegung des weifsen Lichts, die Gegenstand dieses Aufsatzes ist, den umfafsendsten Beweis zu liefern.

Mittelst dieser Zerlegung sind wir im Stande die Erscheinung zu erklären, dafs die Augen gewisser Personen für einzelne Farben unempfindlich sind. Sind ihre Augen blind z. B. für rothe Strahlen, so sehen sie, da nach Abzug allen *Roths* aus dem Spectrum nur *Blau* und *Gelb* übrig bleiben, das *violette* Feld *blau*, und das *orangefarbene* und *rothe* Feld *grünlichgelb*. Die physiologischen Thatsachen stimmen demnach mit den optischen Principien überein, und während letztere eine richtige Erklärung der ersteren liefern, geben diese jenen eine neue und unerwartete Stütze.

Zusatz. Für die etwaige Wiederholung der in diesem Aufsatze beschriebenen Versuche ist es nicht ganz unwichtig, an die älteren Erfahrungen von Hassenfratz (*Annal. de chim. T. LXVI. p.* 54.) zu erinnern, da sie, obgleich sonst ohne Bedeutung für die Discussion über die Zulänglichkeit der Newton'schen Farbentheorie, auf den nicht zu vernachlässigenden Einflufs der Atmosphäre auf das zu uns gelangende Sonnenlicht und auf die mit ihm erhaltenen prismatischen Erscheinungen aufmerksam machen.

Im Sommer 1799, an einem ganz heiteren Tage, um

die Mittagszeit erhielt Harsenfratz, mit einem Bündel Sonnenlichts, den er durch eine 25 Decimillimeter weite Oeffnung in ein dunkles Zimmer geleitet, und, unter der Bedingung, daſs Ein- und Austrittswinkel gleich waren, auf ein Prisma fallen lassen hatte, ein Spectrum von 360 Millimeter Länge, worin alle Farben vom Purpur bis zum Roth deutlich zu erkennen waren. Beim Untergang der Sonne, als sie gelb erschien, hatte das Spectrum eine geringere Länge, und ein meh oder weniger beträchtlicher Antheil des Violett war verschwunden, ja fehlte, wie das Purpur, zuweilen gänzlich.

Am 13. Januar 1801 betrug die Länge des Spectrums unter denselben Umständen um 10½ Uhr Vormittags nur 145 Millimeter, um 4 Uhr Nachmittags 110, und 10 Minuten später nur 100 Millimeter. Als das Spectrum die gröſste Länge hatte, war das Gelb sehr rein, als das Violett verschwand, nahm dasselbe eine dunklere, mehr rothe Farbe an.

Am 15. Jan. Mittags war das Spectrum 185 Millimeter lang; beim Untergang der Sonne aber, wo diese schön roth erschien, betrug die Länge des Spectrums nur 70 Millim., und es waren in demselben nur Roth, Orange und Grün zu unterscheiden.

Oftmals wiederholte Versuche dieser Art gaben immer das Resultat, daſs das Spectrum länger oder kürzer war, je nachdem die Sonne mit weiſsem oder gelbem Lichte schien. Daſs dem Sonnenlichte beim Durchgange durch die Atmosphäre eine und mehrere Farben entzogen worden sind, wenn es gelb, orange oder roth erscheint, kann man, wie Hr. H. bemerkt, an Regenbogen sehen, die zu verschiedener Tageszeit, also bei verschiedener Höhe der Sonne, gebildet werden. Scheint die Sonne roth, so enthält der Regenbogen nur Roth, Orange und Grün.

Die zahlreichen Versuche, welche Hassenfratz auſserdem über die Absorption mehrerer prismatischer Far-

ben durch gewisse Flüssigkeiten und gefärbte Gläser angestellt, und in einer andern Abhandlung (*Ann. de chim. LXVI p.* 290, *XVII p.* 5 *et* 113) beschrieben hat, jedoch ohne aus denselben gleiche Schlüsse wie der Dr. Brewster aus den seinigen zu ziehen, verdienen ebenfalls noch heute alle Beachtung, und von denen, die diese Untersuchung etwa wieder aufnehmen wollen, in der Urschrift nachgelesen zu werden. Indem wir auf diese verweisen, wollen wir noch schliefslich einer Erscheinung erwähnen, deren Ursache wahrscheinlich auch in einer farbenverschluckenden Wirkung der Atmosphäre gesucht werden mufs.

Wie Hr. Léon Dufour der Pariser Academie berichtet hat (*Journ. de chim. med. An.* 1831, *p.* 758.), erschien nämlich zu Saint-Séver am 10. Aug. 1831 um 5 Uhr Abends die Sonne rund und weifs, ohne alle Strahlen wie der Mond, so dafs man sie mit blofsen Augen ohne Anstrengung betrachten konnte. Eine Stunde darauf nahm sie zu diesem Ansehn noch eine entschieden *blafsblaue* Farbe an, und die von ihr beschienenen Gegenstände erhielten auch eine *bläuliche* Farbe, während der Horizont an ihrem Untergangsort lebhaft roth war, wie oft an heifsen Tagen. Ein leichter Nebel, der den Himmel dabei gleichmäfsig überzog, war wahrscheinlich die Ursache des sonderbaren Ansehens der Sonne. Die Temperatur war 25° R., der Barometerstand auf 27″ 4‴, der Wind bliefs sehr schwach aus Ost. Dieselbe Erscheinung zeigte sich, zufolge anderer an die Academie gelangten Nachrichten, auch zu Bordeaux, Perpignan und im ganzen südlichen Frankreich, selbst im nördlichen Italien.

P.

VIII. *Ueber die Zersetzung des Alkohols durch Chlor;*

von J. Liebig.

Mit einer Arbeit über die Einwirkung des Chlors auf den Alkohol beschäftigt, habe ich folgende Resultate erhalten:

1) Leitet man trocknes Chlorgas durch absoluten und heifsen Weingeist, so lange bis sich keine Salzsäure mehr erzeugt, so erstarrt der Alkohol zuletzt zu einer weifsen krystallinischen Masse.

2) Diese Krystalle bestehen aus einem eigenthümlichen Körper, den ich *Chloral* (von *Chlor* und *Al*kohol) nenne, in Verbindung mit Wasser.

3) Das reine Chloral besteht aus Chlor, Kohlenstoff und Sauerstoff, ist flüssig, schwerer als Wasser, und darin auflöslich.

4) Das Chloral bildet mit dem Wasser zwei Verbindungen; die eine ist ein weifses, in Wasser ganz unlösliches Pulver.

5) Durch wäfsrige Alkalien wird das Chloral in einen neuen Chlorkohlenstoff und in Ameisensäure verwandelt. Von wasserfreien Alkalien wird es nicht zersetzt.

6) Der neue Chlorkohlenstoff kann auch leicht durch Destillation von Weingeist mit überschüssigem chlorigsauren Kalk erhalten werden.

Auch wird er durch Destillation von chlorigsaurem Kalk mit Brenzessiggeist gebildet.

IX. *Analyse des Mannits und des Pikrotoxins; von C. Oppermann.*

Durch die Mittheilung eines ausgezeichnet reinen Mannazuckers, den ich der Güte des Hrn. Prof. Geiger verdanke, bin ich veranlafst worden, die Analyse dieses Körpers vorzunehmen. Ich würde auf die Bekanntmachung derselben sehr wenig Werth legen, wenn sie nicht von den Analysen von Prout und Saussure wesentlich abwiche. Diese Abweichung ist lediglich dem neuen Apparat von Hrn. Prof. Liebig zuzuschreiben, welcher, wie man weifs, erlaubt, eine gröfsere Menge, als die früheren, der Verbrennung zu unterwerfen. Die Resultate von Saussure und Prout sind folgende:

	Saussure.	Prout.	
Kohlenstoff	38,53	38,70	
Wasserstoff	7,87	6,81	} 61,3 Wasser.
Sauerstoff	53,60	54,49	

Der Mannit, welcher der folgenden Analyse unterworfen worden ist, war in blendendweifsen, seidenartigen Nadeln krystallisirt, und besafs sonst alle Eigenschaften, die den reinsten Mannit charakterisiren.

I. 0,517 Grm. Mannit verloren, eine halbe Stunde bei 100° erhitzt, durchaus nichts von ihrem Gewichte. Dieselbe Quantität gab 0,762 Gramm Kohlensäure und 0,265 Grm. Wasser.

II. 0,506 Grm. lieferten in einem zweiten Versuch 0,738 Grm. Kohlensäure und 0,352 Grm. Wasser.

Berechnet man diese Resultate auf 100 Theile, so erhält man:

	I.	II.
Kohlenstoff	40,75299	40,3274
Wasserstoff	7,84361	7,7284
Sauerstoff	51,39340	51,8439

aus welchen Zahlen sich die theoretische Zusammensetzung *) ergiebt:

4 At. Kohlenstoff	305,750	40,13
9 - Wasserstoff	56,158	7,37
4 - Sauerstoff	400,000	52,80
	761,908	100,00.

Pikrotoxin.

Das Pikrotoxin oder Menispermin wurde bekanntlich von Boullay entdeckt. Eine Analyse dieses Körpers schien Hrn. Prof. Liebig um so wichtiger zu seyn, als es zeither unter die vegetabilischen Salzbasen gerechnet worden ist, obgleich seine alkalischen Eigenschaften durch die Versuche von Nees von Esenbeck und Casaseca schon mehr als zweifelhaft gemacht worden sind. In der Voraussetzung, dafs es zu dieser Klasse von Körpern gehöre, hat man selbst Verbindungen desselben mit Säuren beschrieben, und sogar Analysen von Pikrotoxinsalzen bekannt gemacht, wiewohl es als vegetabilische Base nothwendig Stickstoff enthalten müfste.

Ich habe den Versuchen von Casaseca und Nees von Esenbeck nichts hinzuzufügen, Wie diese Chemiker habe ich gefunden, dafs es durchaus keine alkalische Reaction ausübt, nicht die geringste Menge irgend einer Säure neutralisirt. Das Gas, welches durch Verbrennung dieses Körpers mit Kupferoxyd entstand, wurde von Kali ohne Rückstand absorbirt.

I. 0,4 Grm. Pikrotoxin, bei 100° C. getrocknet,

*) Von welcher indefs das Wasser abzurechnen ist, das der Mannazucker, gleich dem Rohrzucker, bei seiner Verbindung mit Basen ohne Zweifel fahren läfst. P.

verloren nichts am Gewicht. Diese Quantität mit Kupferoxyd verbrannt, gab 0,880 Grm. Kohlensäure und 0,220 Grm. Wasser.

II. 0,1 Grm. lieferte 112,31 C. C. Kohlensäure, bei 0° und 28″ B., und 0,056 Grm. Wasser.

Auf 100 Theile berechnet, erhält man:

	I.	II.
Kohlenstoff	61,434	61,53065
Wasserstoff	6,110	6,22160
Sauerstoff	32,456	32,24775

und diese Zahlen zum Grunde einer theoretischen Berechnung gelegt:

5 At.	Kohlenstoff	382,185	61,67
6 -	Wasserstoff	37,438	6,04
2 -	Sauerstoff	200,000	32,29
		619,623	100,00.

X. *Notizen.*

Am 11. Jul. d. J. theilte Hr. **Babinet** der Pariser Academie das Resultat einiger Versuche mit, die er über die ungleiche Absorption der beiden polarisirten Strahlen durch farbige doppeltbrechende Krystalle angestellt hatte. Seiner Angabe nach lassen alle negative Krystalle, wie farbiger Kalkspath, Aragonit, Turmalin u. s. w., vorzugsweise den aufserordentlichen Strahl hindurch, alle positiven Krystalle, wie Rauchtopas, Gyps von Montmartre u. s. w., dagegen den ordentlichen Strahl.

Bekanntlich giebt die Sirene, wenn sie durch eine Wassersäule von hinlänglicher Höhe in Bewegung gesetzt wird, einen aus den Schwingungen des Wassers

entstehenden Ton, selbst bei völliger Untertauchung in Wasser. Durch neuere, der Pariser Academie mitgetheilte Versuche hat Hr. Cagnard Latour, der Erfinder dieses Instruments, gefunden, dafs wenn er, im Wasser stehend, dasselbe durch eine mit Wasser gefüllte Pumpe in Bewegung setzte, der Ton sogleich verstärkt wurde, wie er sein Ohr untertauchte, obgleich dabei sein Abstand von der Sirene ungeändert blieb. Diefs beweist, dafs die Schwingungen des Wassers direct mit gröfserer Stärke zum Ohr geleitet werden, als wenn es vermittelst der Atmosphäre geschieht. Hr. L. fand auch, dafs der Ton mit Zunahme der Tiefe, in welche er sich begab, nicht merklich variirte; und daraus folgert er, dafs die Zunahme des Drucks auf die Luft im Ohr von keinem Einflufs bei dieser Erscheinung sey, sondern dafs dieselbe hauptsächlich von der directen Schallleitung des Wassers abhange. (*Journ. of the Roy. Instit. N. V. p.* 377.)

Unter den Augen und mit dem Apparat des Prof. Liebig hat Hr. J. Gay-Lussac seine Analyse des Salicins mit einer gröfseren Quantität wiederholt, und dadurch folgendes, von dem früheren (d. Ann. XIX, 304) etwas abweichendes Resultat erhalten:

Kohle	55,49	. . . 2 At.
Wasserstoff	6,33	. . . 5 -
Sauerstoff	38,13	. . . 2 -

(*Ann. de chim. et de phys. T. XLVIII. p.* 111.)

ANNALEN
DER PHYSIK UND CHEMIE.

JAHRGANG 1831, ZWÖLFTES STÜCK.

I. *Ueber die magnetische Neigung in St. Petersburg, und ihre täglichen und jährlichen Veränderungen;*

von A. T. Kupffer.

(Auszug aus einer der Academie der Wissenschaften am 11. Mai 1831 vorgelesenen Abhandlung.)

Die magnetische Neigung von St. Petersburg hat, besonders in früherer Zeit, mehrere ausgezeichnete Beobachter beschäftigt, und eine kurze Geschichte dieser Bemühungen wird uns zeigen, wie die Beobachtungskunst auch in diesem Zweige der Physik nach und nach vollkommener geworden ist, und uns zugleich ein Mittel an die Hand giebt, die jährlichen Aenderungen, welchen die magnetische Neigung in St. Petersburg unterworfen ist, genauer zu bestimmen.

Der erste, welcher die magnetische Neigung in St. Petersburg bestimmte, war Euler; er fand sie im Jahre 1755 gleich 73°,30'. Vierzehn Jahre nach ihm, d. h. im Jahre 1769, fand Mallet dieselbe gleich 71° 35' *). Diese Beobachtung verdient einiges Vertrauen, weil sie mit allen den Hülfsmitteln, welche die damalige Beob-

*) Siehe *Novi Commentarii Acad. scient. petropolit. T. XIV.*

achtungskunst darbot, und nach einer verbesserten Methode angestellt worden ist. Daniel Bernouilli hatte sich nämlich einige Jahre vorher mit der magnetischen Neigung beschäftigt, und gezeigt, wie man die Fehler, welche aus der Nichtcoïncidenz des Schwerpunktes der Nadel mit deren Drehungsmittelpunkt entsteht, vermeiden könne *). Seine Methode, welcher die Pariser Academie einen Preis zuerkannte, bestand darin, daſs er an der Axe der Nadel einen kleinen Zeiger mit einem Gewichtchen anbrachte, dessen Verschiebung eine Verrükkung des Schwerpunktes der Nadel nach sich zog; eine Kreiseintheilung, deren Mittelpunkt im Mittelpunkt der Drehung lag, gab nicht nur an, um wie viel man die Zeiger gedreht hatte, sondern machte es auch möglich, ihn immer wieder auf dieselbe Stelle zurückzuführen, Fig. 12 Taf. IV **), wo *AB* der Zeiger, *m* das Gewichtchen ist. Um nun mit einer solchen Nadel die Neigung zu finden, untersucht man erstlich, so lange die Nadel noch nicht magnetisch ist, welche Neigungen sie bei verschiedenen Stellungen des Zeigers annimmt, und setzt aus diesen Beobachtungen eine Tabelle zusammen; es ist leicht einzusehen, daſs wenn die Nadel eine symmetrische Figur hat, die Differenzen der Neigungen der Nadel und der Angaben des Zeigers nie sehr groſs seyn werden, vorausgesetzt, daſs man die Winkel des Zeigers von einer auf die Länge der Nadel senkrechten Linie, und die Neigungen vom Horizonte an rechnet. Sobald diese Tabelle entworfen ist, magnetisirt man die Nadel, stellt das Instrument in den magnetischen Meridian und beobachtet nun wieder die Neigungen, welche die Nadel bei verschiedenen Stellungen des Zeigers annimmt. Diejenige Neigung, bei welcher der Unterschied dieser Neigung und der Angabe des Zeigers derselbe ist, als er

*) *Journal des Savans, Tom. XXV, Jahrg.* 1757.

**) Die dem Hefte No. 10. beigegeben wurde. *P.*

bei der unmagnetischen Nadel gefunden wurde, ist die wahre magnetische Neigung.

Es fand sich bald, dafs diese Methode keine grofse Genauigkeit zuläfst; und Euler der Sohn, als er die magnetische Neigung von Berlin bestimmen wollte, erdachte eine andere Methode, bei welcher er indefs dasselbe Instrument ohne die geringste Abänderung brauchte. Diese Methode *) besteht darin, dafs man den kleinen Zeiger auf verschiedene Punkte des Kreises, den er durchläuft, stellt, und die Neigungen, die die Nadel dabei annimmt, beobachtet; man erhält mehrere Werthe, welche Functionen der wahren Neigung und gewisser unbekannter Gröfsen sind, welche letztere man dann leicht eliminiren kann, wenn die Beobachtungen geschickt gewählt sind, und ihre Anzahl der Zahl der zu bestimmenden Gröfsen entspricht. In der That, es sey α die wahre Neigung, Θ die beobachtete Neigung, ω das Azimuth der Nadel, vom magnetischen Meridian an gerechnet, η der Winkel, den der kleine Zeiger mit dem Querschnitt der Nadel macht, γ der Winkel, der zwischen demselben Querschnitt und einer Linie enthalten ist, die durch den Schwerpunkt und den Drehungspunkt geht. Es sey p das Gewicht der Nadel, g die Entfernung des Schwerpunkts derselben am Drehungsmittelpunkt, q das Gewicht des Zeigers, und d die Entfernung seines Schwerpunktes vom Drehungsmittelpunkt, und endlich r der Moment der magnetischen Kräfte der Nadel. Setzen wir nun noch der Einfachheit wegen $\frac{pg}{qd}=m$ und $\frac{r}{qd}=n$, so ist:

$$tg\,\Theta=\frac{\sin\eta-m\sin\gamma+n\sin\alpha}{\cos\eta+m\cos\gamma+n\cos\alpha\cos\omega}.$$

Man sieht erstlich aus dieser Gleichung, dafs Θ denselben Werth annimmt, ω mag positiv oder negativ seyn. Diefs giebt noch ein Mittel an die Hand, die Richtung des magnetischen Meridians zu finden, man braucht nur

*) *Mémoires d. l'Acad. d. Berlin*, *Jahr* 1755.

zwei Azimuthe zu suchen, wo die Neigung dieselbe ist; die Ebene, die zwischen diese beiden Azimuthe mitten durch geht, ist die des magnetischen Meridians. Es ist leicht einzusehen, dafs man die Richtung des magnetischen Meridians desto genauer findet, je mehr sich die Neigung, durch welche man sie finden will, bei einer kleinen Aenderung der Azimuthe verändert; man braucht deshalb dazu fast ausschliefslich die Neigung von 90°.

Hat man den magnetischen Meridian gefunden, so beobachtet man blofs in demselben, wodurch die obige Gleichung etwas einfacher wird, indem $\cos\omega = \mp 1$. Nun macht man eine hinreichende Anzahl Beobachtungen bei verschiedenen Stellungen des Zeigers, um die unbekannten Gröfsen bestimmen zu können; ein Beispiel wird bei beiden zeigen, wie man dabei verfahre; ich wähle dasselbe aus den Beobachtungen Mallet's, welcher im Jahre 1769 die Neigung von St. Petersburg bestimmte:

Werthe, welche den Gröfsen ω und η gegeben worden.	Beobachtete Neigung.
$\omega = 0°;\ \eta = 0°$	$\Theta = 34°\ 00'$
$\omega = 0;\ \eta = 90$	$\Theta = 76\ \ 40$
$\omega = 0;\ \eta = 180$	$\Theta = 119\ \ 39$
$\omega = 180;\ \eta = 0$	$\Theta = 47\ \ 20$
$\omega = 180;\ \eta = 180$	$\Theta = 139\ \ 00$

und nachdem er die Pole der Nadel umgekehrt hatte:

$\omega = 0°;\ \eta = 0°$	$\Theta = -48°\ 00'$
$\omega = 0;\ \eta = 180$	$\Theta = -139\ \ 50$
$\omega = 90;\ \eta = 0$	$\Theta = -40\ \ 00$
$\omega = 180;\ \eta = 0$	$\Theta = -33\ \ 50$
$\omega = 180;\ \eta = 180$	$\Theta = -120\ \ 30$

Die Neigungen sind alle vom südlichen Ende der Horizontallinie an gezählt worden.

Setzt man nun $n\cos\alpha = E$, $m\cos\gamma = F$ und $-m\sin\gamma + n\sin\alpha = G$, so hat man folgende Gleichungen:

$$(a)\ tang\ 34^{\circ} = \frac{G}{1+F+E}$$

$$(b)\ tang\ 76\ 40' = \frac{1+G}{F+E}$$

$$(c)\ tang\ 119\ 39' = \frac{G}{-1+F+E}$$

$$(d)\ tang\ 47^{\circ}\ 20' = \frac{G}{1+F-E}$$

$$(e)\ tang\ 139\ \ 0 = \frac{G}{-1+F-E}$$

Nach Umkehrung der Pole:

$$(a')\ -tang\ 48^{\circ}\ 00' = \frac{G'}{1+E'+F'}$$

$$(b')\ -tang\ 139\ \ 50 = \frac{G'}{-1+F'+E'}$$

$$(c')\ -tang\ 40\ \ 00 = \frac{G'}{1+F'}$$

$$(d')\ -tang\ 33\ \ 50 = \frac{G'}{1+F'-E'}$$

$$(e')\ -tang\ 120\ \ 30 = \frac{G'}{-1+F'-E'}$$

Man findet leicht durch Combination dieser Gleichungen:

1) Aus den Gleichungen (*a*), (*d*), (*e*)
$G=0{,}9652$; $E=0{,}2706$; $F=0{,}1603$

2) Aus den Gleichungen (*b*), (*d*), (*e*)
$G=0{,}9652$; $E=0{,}2885$; $F=0{,}1776$

3) Aus den Gleichungen (*c*), (*d*), (*e*)
$G=0{,}9652$; $E=0{,}2821$; $F=0{,}1717$

4) Aus den Gleichungen (*b*), (*c*), (*e*)
$G=0{,}9505$; $E=0{,}2778$; $F=0{,}1844$

5) Aus den Gleichungen (*b*), (*c*), (*d*)
$G=0{,}9505$; $E=0{,}2931$; $F=0{,}1692$

6) Aus der Gleichung (*a*), (*c*), (*d*)
$G=0{,}9764$; $E=0{,}2738$; $F=0{,}1738$

Und nach Umkehrung der Pole:

1) Aus den Gleichungen $(b, c, d)'$

$$G' = -0{,}9592;\quad E' = -0{,}2837;\quad F' = 0{,}1473$$

2) Aus den Gleichungen $(b, c, e)'$

$$G' = -0{,}9611;\quad E' = -0{,}2842;\quad F' = 0{,}1496$$

3) Aus den Gleichungen $(c, d, e)'$

$$G' = -0{,}9611;\quad E' = -0{,}2863;\quad F' = 0{,}1476$$

4) Aus den Gleichungen $(a, b, d)'$

$$G' = -0{,}9592;\quad E' = -0{,}2795;\quad F' = 0{,}1431$$

Mallet, der unsere heutige Combinationsmethode nicht kannte, nahm das Mittel aus allen diesen Werthen, und fand so:

$$G = +0{,}9640 \qquad G' = -0{,}9601$$
$$E = +0{,}2809 \qquad E' = -0{,}2834$$
$$F = +0{,}1728 \qquad F' = +0{,}1469$$

Nun ist aber, wie man sich leicht überzeugen kann:

$$tang\,\alpha = \frac{G}{E} + \frac{F}{E}\,tang\,\gamma = \frac{G'}{E'} + \frac{F'}{E'}\,tang\,\gamma.$$

Wenn man aus diesen beiden Gleichungen die Werthe von α und γ bestimmt, so findet man:

$$\gamma = -0^\circ\ 26' \qquad \alpha = 73^\circ\ 46'.$$

Diese Beobachtung ist von Wichtigkeit, weil sie uns dazu dienen kann, die Abnahme der Neigung in St. Petersburg mit Genauigkeit zu bestimmen. Ich will deshalb noch die Unterschiede hersetzen, welche man von der Vergleichung der beobachteten und der aus dem gefundenen Werthe von α berechneten Werthen von Θ erhält, diese Unterschiede werden uns einen richtigen Maafsstab für die Zuverlässigkeit der Beobachtung geben.

Beobachtete Werthe von Θ.	Berechnete Werthe von Θ.	Unterschiede.
(a) 34° 00′	33° 33′	+ 27′
(b) 76 40	76 59 ½	− 19 ½
(c) 119 39	119 32 ½	+ 2 ½
(d) 47 20	47 13 ½	+ 6 ½
(e) 139 0	138 58 ½	+ 1 ½

Beobachtete Werthe von Θ.	Berechnete Werthe von Θ.	Unterschiede.
(a') — 48° 00′	— 48° 2′	+ 2′
(b') —139 50	—139 48 ½	— 1 ½
(c') — 40 00	— 39 54 ½	— 5 ½
(d') — 33 50	— 33 52 ½	+ 2 ½
(e') —120 30	—120 41	+11

Kraft hat einige Jahre später eine Reihe von Bestimmungen der magnetischen Neigung in St. Petersburg zu geben angefangen, welche wenig unter einander stimmen, und deshalb nicht so viel Vertrauen zu verdienen scheinen als die Mallet'schen. Ich setze nur die Resultare her; man kann das Uebrige in den Abhandlungen von Kraft selbst lesen *).

Er fand im Jahre 1774 $\alpha = 76°\ 4'$
$\alpha = 75\ \ 10$
im Jahre 1778 $\alpha = 72\ \ 26'$
72 38
72 34
72 47.

Jetzt folgt in der Geschichte der Bestimmungen der magnetischen Neigung in St. Petersburg ein langer Zwischenraum, während dessen keine Beobachtung gemacht wurde. Erst in dem Jahre 1828, als Hr. Hansteen, und im Jahre 1829, als Hr. v. Humboldt sich einige Zeit in St. Petersburg aufhielten, wurde die Neigung daselbst abermals beobachtet. Unterdessen hatte die Kunst zu beobachten grofse Fortschritte gemacht. Man hatte angefangen, die gröfste Sorgfalt auf die Verfertigung der Instrumente zu verwenden, und sie so einzurichten, dafs es dem Beobachter möglich wird die Fehler derselben selbst zu bestimmen, so dafs er durch kein zu grofses Vertrauen auf die Genauigkeit der Ausführung irre geleitet werden kann; man hatte neue Methoden erfunden, mit denen man sicherer und schneller zum Ziele kam, als

*) *Novi Commentari Acad. Scientiar. petrop. T. XIX.*

mit der früheren. Unter diesen Methoden zeichnet sich besonders die Borda'sche und Mayer'sche aus, die hier eine ausführlichere Erwähnung verdienen. Die gröfsere oder geringere Abweichung, die jede beobachtete Neigung von der wahren zeigt, kann folgende Ursachen haben:

1) Der Collimationsfehler des getheilten Kreises, d. h. wenn der Radius des Kreises, der durch den Nullpunkt der Eintheilung geht, nicht vollkommen horizontal ist.

2) Der Collimationsfehler der Nadel, wenn eine Linie, die durch die beiden Endspitzen der Nadel geht, mit der magnetischen Axe derselben nicht genau parallel ist.

3) Wenn die Achatplatten, auf welchen die Nadel ruht, nicht vollkommen horizontal sind.

4) Wenn der Schwerpunkt der Nadel nicht vollkommen genau mit dem Drehungspunkt zusammenfällt.

Hiezu kommt noch der Fehler, welcher entsteht, wenn der Drehungsmittelpunkt der Nadel nicht genau im Mittelpunkte des Kreises liegt, welcher indefs sofort verschwindet, wenn man das Mittel aus den beiden Ablesungen an beiden Enden der Nadel nimmt.

Hat man die Axe der Bussole vermittelst des Niveaus, welches an derselben befestigt ist, vollkommen senkrecht gestellt, so wird durch Umdrehung des getheilten Kreises von 180° um diese Axe der erste der angeführten Fehler, ohne seinen Werth zu ändern, negativ, verschwindet also im Mittel aus beiden Beobachtungen.

Der zweite Fehler verschwindet auf eben dieselbe Weise, wenn man die Nadel auf ihren Unterlagen umkehrt.

Der dritte Fehler hebt sich ebenfalls auf, wenn man den getheilten Kreis, in dessen Mittelpunkt die Achatplatten befestigt sind, — 180° um die verticale Axe herumdreht.

Der letzte und gröfste Fehler endlich, der entsteht, wenn der Schwerpunkt der Nadel nicht genau mit dem Drehungsmittelpunkt derselben zusammenfällt, läfst sich auf zweierlei Art entfernen; und diese beiden Arten constituiren die Borda'sche und die Mayer'sche Methode.

Die Borda'sche Methode besteht darin, dafs man erst die Nadel von einem geschickten Künstler so aequilibriren läfst, dafs der Schwerpunkt sehr wenig vom Mittelpunkt der Drehung entfernt ist. Alsdann verschwindet dieser Fehler, den wir den Schwerpunktfehler nehnen wollen, durch doppelte Umdrehung der Nadel, ein Mal auf ihren Unterlagen, das zweite Mal um ihre Drehungsaxe; um die letzte Umdrehung hervorzubringen, mufs man die Pole der Nadel umkehren.

Um diefs strenge zu beweisen, wollen wir unsere obigen Formeln wieder vornehmen. Da alle Nadeln heutiger Construction des kleinen Zeigers, den Bernouilli und Euler an der Axe der Nadel anbringen liefsen, entbehren, so ist $q=0$, und wir haben für $\omega=0$:

$$tang\ \Theta=\frac{r \sin\alpha - t \sin\gamma}{r \cos\alpha + t \cos\gamma} \quad \ldots\ldots \quad \text{(I)}$$

wo r das magnetische, und t das Gravitations-Drehungsmoment der Nadel bedeutet.

Eben so bekommen wir sie $\omega=180°$:

$$tang\ \Theta'=\frac{r \sin\alpha - t \sin\gamma}{r \cos\alpha - t \cos\gamma} \quad \ldots\ldots \quad \text{(II)}$$

Und endlich, nach Umkehrung der Pole, wodurch r negativ wird:

$$\left.\begin{aligned} tang\ \Theta''&=\frac{r' \sin\alpha + t \sin\gamma}{r' \cos\alpha - t \cos\gamma} \\ tang\ \Theta'''&=\frac{r' \sin\alpha + t \sin\gamma}{r' \cos\alpha + t \cos\gamma} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad \text{(III)}$$

Ich habe hier, wie man sieht, der gröfseren Allgemeinheit wegen, angenommen, dafs die magnetische Kraft, die die Nadel nach Umkehrung ihrer Pole bekommen

hat, von derjenigen verschieden sey, die sie vor der Umkehrung hatte.

Hier ist stillschweigend angenommen, dafs die Werthe von Θ, Θ', Θ'' und Θ''' schon von den drei ersten oben angeführten Fehlern befreit seyen.

Man findet nun leicht:

$$cot(\Theta+\Theta')=\frac{cot\,\Theta\,cot\,\Theta'-1}{cot\,\Theta+cot\,\Theta'}$$
$$=\frac{r^2-2r^2\,sin^2\,\alpha-t^2+2tr\,sin\,\alpha\,sin\,\gamma}{2r\,cos\,\alpha(r\,sin\,\alpha-t\,sin\,\gamma)}$$

und eben so:

$$cot(\Theta''+\Theta''')=\frac{r'^2-2r'^2\,sin^2\,\alpha-t^2-2tr'\,sin\,\alpha\,sin\,\gamma}{2r'\,cos\,\alpha(r'\,sin\,\alpha+t\,sin\,\gamma)}.$$

In diesen beiden Gleichungen kann man $t^2=0$ setzen, da wir angenommen haben, dafs der Künstler den Schwerpunkt der Nadel ihrem Drehungsmittelpunkte sehr nahe gebracht habe, so dafs also t eine sehr kleine Gröfse ist. Man hat überdiefs:

$1-2\,sin^2\,\alpha=cos\,2\alpha$ und $2\,sin\,\alpha\,cos\,\alpha=sin\,2\alpha$; also:

$$cot(\Theta+\Theta')=\frac{r\,cos\,2\alpha+2t\,sin\,\alpha\,sin\,\gamma}{r\,sin\,2\alpha-2t\,cos\,\alpha\,sin\,\gamma}$$
$$cot(\Theta''+\Theta''')=\frac{r'\,cos\,2\alpha-2t\,sin\,\alpha\,sin\,\gamma}{r'\,sin\,2\alpha+2t\,cos\,\alpha\,sin\,\gamma},$$

Es ist jetzt leicht die Cotangente der Summe der vier beobachteten Neigungen zu finden; man erhält, wenn man immer $t^2=0$ setzt:

$$cot(\Theta+\Theta'+\Theta''+\Theta''')=\frac{cot(\Theta+\Theta')\,cot(\Theta''+\Theta''')-1}{cot(\Theta+\Theta')+cot(\Theta''+\Theta''')}$$
$$=\frac{rr'\,cos\,4\alpha+2(r'-r)t\,sin\,\gamma\,sin\,3\alpha}{rr'\,sin\,4\alpha-2(r'-r)t\,sin\,\gamma\,cos\,3\alpha}.$$

Setzt man in dieser Gleichung $r'=r$, so bekommt man:

$$cot(\Theta+\Theta'+\Theta''+\Theta''')=cot\,4\alpha,$$

oder $$\tfrac{1}{4}(\Theta+\Theta'+\Theta''+\Theta''')=\alpha.$$

Man sieht hieraus, dafs wenn t so klein ist, dafs man dessen Quadrat gleich Null setzen kann, und wenn man annehmen darf, dafs die magnetische Kraft der Na-

del vor und nach der Umkehrung der Pole sich gleich bleibe, man nur das Mittel aus vier, bei $\omega = 0$, und bei $\omega = 180°$, vor und nach Umkehrung der Pole angestellten Beobachtungen zu nehmen braucht, um die wahre Neigung zu haben; und das ist die Borda'sche Methode. Man macht gewöhnlich, um eine noch gröfsere Genauigkeit zu erlangen, acht Beobachtungen, nämlich:

1) Zwei bei $\omega = 0°$ und bei $\omega = 180°$.
2) Zwei in denselben Azimuthen, nachdem man die Nadel auf den Unterlagen umgekehrt hat; und
3) Dieselben vier Beobachtungen, nach Umkehrung der Pole.

Es ist leicht einzusehen, dafs 1) und 2) eigentlich dasselbe Resultat geben müfsten, welches auch bei gut ausgeführten Nadeln zutrifft.

Hr. Prof. Mayer *) dagegen räth, den Schwerpunkt der Nadel vom Drehungsmittelpunkt absichtlich zu entfernen, durch Befestigung eines kleinen Gewichts an der Seite der Nadel, auf einer Linie, die durch den Mittelpunkt der Nadel geht und mit der Länge der Nadel einen rechten Winkel macht (Fig. 13 Taf. IV). Wenn man keine so zugerichtete Nadel besitzt, so kann man ein Stückchen Siegellack an die Nadel kleben. Macht man nun eine erste Beobachtung bei $\omega = 0$, eine zweite bei $\omega = 180°$, kehrt nun die Nadel auf den Unterlagen um, und macht eine dritte Beobachtung bei $\omega = 180°$ und eine vierte bei $\omega = 0°$; wiederholt endlich diese vier Beobachtungen nach Umkehrung der Pole, und bezeichnet das Mittel aus der ersten und dritten Beobachtung mit Θ, das Mittel aus der zweiten und vierten mit Θ', das Mittel aus der fünften und siebenten mit Θ'' und das Mittel aus der sechsten und achten mit Θ''', so hat man:

$$\cot\alpha = \frac{\cot\Theta \, . \cot\Theta''' - \cot\Theta' \cot\Theta''}{(\cot\Theta + \cot\Theta''') - (\cot\Theta' + \cot\Theta'')}.$$

In dieser Formel ist nicht vorausgesetzt, dafs die

*) *Comment. Societ. Goetting. recentior. Vol. III.*

magnetische Kraft der Nadel vor und nach der Umkehrung der Pole sich gleich bleibe. Ist diefs indefs der Fall, so bekommt die Formel folgende weit einfachere Gestalt:

$$tang\,\alpha = \frac{1}{cot\,\Theta + cot\,\Theta'} + \frac{1}{cot\,\Theta'' + cot\,\Theta'''}.$$

Die Werthe von Θ, Θ', Θ'', Θ''' müssen vorläufig von den Collimationsfehlern des Kreises und der magnetischen Axe der Nadel, und von dem Fehler, der aus der Nichthorizontalität der Achatplatten entsteht, befreit seyn. Der Collimationsfehler des Kreises, und der Fehler, der aus der Nichthorizontalität der Achatplatten entsteht, verschwindet von selbst, wenn man immer die Mittel aus je zwei Beobachtungen nimmt, in welchen die Nadel dieselbe Lage im Raume behält, während sich der Kreis an 180° um seine verticale Axe dreht; der Collimationsfehler der magnetischen Axe der Nadel verschwindet aber nicht. Wir wollen also untersuchen, ob dieser Fehler noch im Endresultat enthalten, und wie er in diesem Falle fortzuschaffen sey.

Wir wollen deshalb annehmen, die Werthe Θ, Θ', Θ'', Θ''' seyen noch mit diesem Fehler behaftet, der offenbar für alle drei Werthe derselbe ist; wir wollen ihn mit δ bezeichnen, aber $\Theta - \delta$ für Θ, $\Theta' + \delta$ für Θ', $\Theta'' - \delta$ für Θ' und $\Theta''' + \delta$ für Θ''' setzen. Da δ eine kleine Gröfse ist, so kann man ferner $cot\,\delta = \frac{1}{\delta}$ setzen. Man findet nun, wenn man diese Werthe in die obige Formel substituirt:

$$tang\,\alpha = \frac{\left(\frac{cot\,\Theta - \delta}{\delta\,cot\,\Theta + 1} + \frac{cot\,\Theta'' - \delta}{\delta\,cot\,\Theta'' + 1}\right) - \left(\frac{cot\,\Theta' + \delta}{1 - \delta\,cot\,\Theta'} + \frac{cot\,\Theta''' + \delta}{1 - \delta\,cot\,\Theta'''}\right)}{\left(\frac{cot\,\Theta - \delta}{\delta\,cot\,\Theta + 1}\right)\left(\frac{cot\,\Theta'' - \delta}{\delta\,cot\,\Theta'' + 1}\right) - \left(\frac{cot\,\Theta' + \delta}{1 - \delta\,cot\,\Theta'}\right)\left(\frac{cot\,\Theta''' + \delta}{1 - \delta\,cot\,\Theta'''}\right)}$$

Wenn man diesen Ausdruck entwickelt, indem man überall $\delta^2 = 0$ setzt, so nimmt er folgende Form an:

$$tang\, \alpha = \frac{\delta . \Phi(\Theta, \Theta', \Theta'', \Theta''') + cot\,\Theta - cot\,\Theta'' - cot\,\Theta' - cot\,\Theta'''}{\delta . \Phi'(\Theta, \Theta', \Theta'', \Theta''') + cot\,\Theta\, cot\,\Theta'' - cot\,\Theta'\, cot\,\Theta'''}$$

Hier bedeuten $\Phi(\Theta, \Theta', \Theta'', \Theta''')$ und $\Phi'(\Theta, \Theta', \Theta'', \Theta''')$ trigonometrische Function von Θ, Θ', Θ'', Θ''', die wir zu unserem Zweck nicht näher zu kennen brauchen.

Man sieht, dafs δ nur dann herausfällt, wenn:

$$cot\,\Theta + cot\,\Theta'' - cot\,\Theta' - cot\,\Theta''' = 0$$

und

$$cot\,\Theta\, cot\,\Theta'' - cot\,\Theta'\, cot\,\Theta''' = 0,$$

welches geschieht, wenn:

$$\Theta = \Theta' \text{ und } \Theta'' = \Theta''',$$

oder wenn:

$$\Theta = \Theta''' \text{ und } \Theta' = \Theta'',$$

d. h. wenn der Schwerpunkt der Nadel entweder auf der magnetischen Axe der Nadel liegt, oder auf einer Linie, die senkrecht auf dieser Axe durch den Drehungsmittelpunkt geht. Den ersten Fall mufs man durchaus vermeiden, denn wenn $\Theta = \Theta'$, und $\Theta'' = \Theta'''$ ist, so wird der durch die Mayer'sche Formel gegebene Werth von $tang\, \alpha$ gleich $\frac{0}{0}$. Es bleibt also nur der zweite Fall übrig, welcher eintritt, wenn man das kleine Gewicht so anbringt, wie Mayer es vorschreibt, und wie es in Fig. 13 Taf. IV angedeutet ist. Man sieht jetzt ein, warum es nothwendig ist, das Gewicht gerade hier, und an keinem anderen Orte, anzubringen. Es versteht sich von selbst, dafs das kleine Gewicht sich nur näherungsweise auf einer durch den Mittelpunkt gehenden auf der magnetischen Axe der Nadel senkrechten Linie zu befinden braucht; denn wenn nur nahe $\Theta = \Theta''$ und $\Theta' = \Theta'''$, so verschwindet schon der oben erwähnte Fehler fast ganz.

Hr. Hansteen hat sich wahrscheinlich beider Methoden bedient, der Borda'schen sowohl, als der Mayer'schen; Hr. v. Humboldt wahrscheinlich der Borda'schen. Ich habe die Resultate ihrer Beobachtungen schon in ei-

nen kurzen Note, die sich in den *Mém. de l'Académie de St. Petersbourg, VI. série, Tome I,* 1830, abgedruckt findet, mitgetheilt. Ich setze deshalb hier nur die Endresultate her:

Neigung im botanischen Garten auf der Apothekerinsel.

Im Juni	1828	71°	17',3
- Mai	1829	71	14,5
- December	1829	71	11,5
- Mai	1830	71	11,3

Diese Beobachtungen geben, unter sich verglichen, eine jährliche Abnahme von 3', vergleicht man sie mit den oben angeführten Mallet'schen Beobachtungen vom Jahre 1769, so findet man 2',5 für diese jährliche Abnahme.

Als ich von meiner Reise nach dem Caucasus zurückgekehrt war, konnte die Neigung von St. Petersburg von Neuem bestimmt werden; und da ich mit Hülfsmitteln ausgerüstet war, die nicht jedem Beobachter zu Gebote stehen, so beschlofs ich zugleich eine Revision der bisher bekannten Beobachtungsmethoden vorzunehmen.

Die Academie hatte mir schon vor einiger Zeit mit ihrer gewohnten Liberalität die nöthigen Summen bewilligt, um ein kleines magnetisches Observatorium bauen zu lassen, welches auf einem isolirten Platze steht, und in dessen Bau sich gar kein Eisen befindet. In diesem Observatorio kann man die Beobachtungen mit der gröfsten Bequemlichkeit und Ruhe vornehmen, ohne sich der Sonne und dem Winde auszusetzen, und die Winterzeit, die in Petersburg den gröfsten Theil des Jahres einnimmt, geht nicht verloren, denn mein kleines Observatorium ist heizbar. Indem ich nun meine Beobachtungen Wochen und Monate lang fortsetzte, sah ich bald ein, wie wünschenswerth es sey, bei Vergleichung der Resultate von Beobachtungen, die mehrere Wochen aus einander liegen, auf die Veränderung, die die Neigung unterdessen

vielleicht erfahren hätte, Rücksicht nehmen zu können. Ich verband deshalb mit meinen Beobachtungen über die absolute Neigung immer Beobachtungen über die täglichen Aenderungen der Neigung, mit einem Instrument, welches besonders zu dessen Gebrauch construirt ist. Ich werde dieses Instrument in dem zweiten Theil dieser Abhandlung, wenn von den täglichen Aenderungen der Neigung in St. Petersburg die Rede seyn wird, ausführlich beschreiben; ich bemerke jetzt nur, daſs die Nadel desselben auf der Schärfe eines dreiseitigen Prismas ruht, wodurch fast alle Friction an der Axe vermieden wird, und daſs die beiden Enden derselben der Länge der Nadel nach ausgespannte Fäden tragen, welche durch zwei an das Instrument selbst unwandelbar befestigte Mikrometer-Mikroskope beobachtet werden, so daſs jede Aenderung der Neigung nicht nur bemerkt, sondern auch mit Genauigkeit gemessen werden kann. Dieses Instrument ist nach meiner Angabe von Hrn. Gambey in Paris verfertigt worden, und läſst in Hinsicht der Ausführung nichts zu wünschen übrig.

Die nachstehenden Beobachtungen über die Neigung von St. Petersburg sind mit drei verschiedenen Bussolen ausgeführt worden, die alle aus der Werkstatt des Hrn. Gambey hervorgegangen sind. Eine von diesen Bussolen gehört zu der Sammlung des magnetischen Observatoriums, die zweite ist dieselbe, die Hr. v. Humboldt auf seiner Reise nach Sibirien mit sich genommen hatte, und die er so gütig war der Marine-Schule in St. Petersburg zu lassen; die dritte endlich ist bestimmt nach Nertschinsk abzugehen, wo auf Befehl Sr. Erlaucht des Finanzministers Grafen Cancrin ebenfalls ein kleines magnetisches Observatorium errichtet wird. Jede dieser Bussolen ist mit zwei Nadeln versehen, die ich A und B nennen will.

in diesem Bau sich gar ke

Observatorio kann man die

ter Bequemlichkeit und Ruh

Sonne und dem Winde ausz

die in Petersburg den grössten

geht nicht verloren, denn mein

bezbar. Indem ich nun meine

und Monate lang fortsetzte,

schenswerth zu sey. Bei V

Beobachtungen, die

gen, auf die

vielleicht erfahren hätte, Rücksicht nehmen zu können. Ich verband deshalb mit meinen Beobachtungen über die absolute Neigung immer Beobachtungen über die täglichen Aenderungen der Neigung, mit einem Instrument, welches besonders zu dessen Gebrauch construirt ist. Ich werde dieses Instrument in dem zweiten Theil dieser Abhandlung, wenn von den täglichen Aenderungen der Neigung in St. Petersburg die Rede seyn wird, ausführlich beschreiben; ich bemerke jetzt nur, dafs die Nadel desselben auf der Schärfe eines dreiseitigen Prismas ruht, wodurch fast alle Friction an der Axe vermieden wird, und dafs die beiden Enden derselben der Länge der Nadel nach ausgespannte Fäden tragen, welche durch zwei an das Instrument selbst unwandelbar befestigte Mikrometer-Mikroskope beobachtet werden, so dafs jede Aenderung der Neigung nicht nur bemerkt, sondern auch mit Genauigkeit gemessen werden kann. Dieses Instrument ist nach meiner Angabe von Hrn. Gambey in Paris verfertigt worden, und läfst in Hinsicht der Ausführung nichts zu wünschen übrig.

Die nachstehenden Beobachtungen über die Neigung von *St.* Petersburg sind mit drei verschiedenen Bussolen ausgeführt worden, die alle aus der Werkstatt des Hrn. Gambey hervorgegangen sind. Eine von diesen Bussolen gehört zu der Sammlung des magnetischen Observatoriums, die zweite ist dieselbe, die Hr. v. Humboldt auf seiner Reise nach Sibirien mit sich genommen hatte, und die er so gütig war der Marine-Schule in St. Petersburg zu lassen; die dritte endlich ist bestimmt nach Nertschinsk abzugehen, wo auf Befehl Sr. Erlaucht des Finanzministers Grafen Cancrin ebenfalls ein kleines magnetisches Observatorium [illegible] wird. Jede dieser Bussolen ist mi[illegible], die ich *A* und *B* nennen wi[illegible]

I. Bussole des Observatoriums.

Nadel *B.*

Die Beobachtung wurde angefangen am 8. September 1830 um 12 Uhr Mittags, und beendigt denselben Tag um 5 Uhr Abends.

Die Nadel nahm eine senkrechte Stellung an in folgenden Azimuthen:

198,14
16,30

Also Azimuth des magnetischen Meridians 107,22.

Nun wurde die Neigung der Nadel in folgenden Azimuthen beobachtet:

Azimuth.	Neigung.	Azimuth.	Neigung.
107° 22′ *)	71° 40′	150° 00′	76° 41′
287 22	70 41	120 00	72 12
300 00	71 00	90 00	72 26
270 00	71 23	60 00	77 34
240 00	75 59	30 00	86 16
210 00	84 54	0 00	84 53
180 00	85 11	330 00	75 19

Und nachdem die Nadel auf ihren Unterlagen umgekehrt war:

107° 22′	70° 48′	180° 00′	84° 28′
287 22	70 56	150 00	75 51
330 00	76 11	120 00	71 8
300 00	71 36	90 00	71 38
270 00	71 38	60 00	76 27
240 00	76 32	30 00	85 21
210 00	85 11	0 00	84 15

Jetzt

*) Es ist von selbst klar, daſs hier die Azimuthe vom Nullpunkt der Theilung des Azimuthalkreises an gerechnet sind.

Jetzt wurden die Pole der Nadel umgekehrt und folgende Neigung beobachtet:

Azimuth.	Neigung.	Azimuth.	Neigung.
107° 22′	72° 30′	270° 00′	71° 49′
287 22	71 3	300 00	71 29
120 00	73 00	330 00	75 50
150 00	77 4	0 00	84 8
180 00	85 20	30 00	86 5
210 00	84 52	60 00	77 35
240 00	76 23	90 00	73 13

Und nachdem die Nadel auf den Unterlagen umgekehrt worden:

107° 22′	71° 44′	270° 00′	72° 9′
287 22	71 23	300 00	72 7
120 00	72 20	330 00	76 28
150 00	76 30	0 00	84 29
180 00	84 42	30 00	85 28
210 00	85 14	60 00	77 14
240 00	77 1	90 00	72 18

Die im magnetischen Meridian ausgeführten Beobachtungen geben folgende acht Werthe:

71° 40′ 70 56	deren Mittel	=71° 18′,0
70 41 70 48	- -	=70 44,5
72 30 71 23	- -	=71° 56,5
71 3 71 44	- -	=71° 23′,5

Also:

Vor der Umkehrung der Pole	71° 1′,25
Nach Umkehrung der Pole	71° 40,0
Mittel	71° 20′,6

welches demnach die wahre Neigung ist.

Um die übrigen Beobachtungen zu berechnen, dienen folgende Betrachtungen:

Es sey α die wahre Neigung im magnetischen Meridian, und α', α'', α''', α'''' etc. die den Azimuthen ω', ω'', ω''', ω'''' etc. entsprechenden Neigungen (hier sind die Azimuthe vom magnetischen Meridian an gerechnet), so ist

$$\cot\alpha' = \cot\alpha\cos\omega';\ \cot\alpha'' = \cot\alpha\cos\omega'';$$
$$\cot\alpha''' = \cot\alpha\cos\omega''' \text{ etc.}$$

Wir wollen jetzt annehmen, man habe n Beobachtungen gemacht, in den Azimuthen:

$$\omega,\ \omega + \frac{360^\circ}{n},\ \omega + \frac{2.360^\circ}{n},\ \omega + \frac{3.360^\circ}{n}\ \ldots\ldots,$$
$$\omega + \frac{(n-1)360^\circ}{n};$$

es seyen, wie so eben, α', α'', α''', α'''' etc. die diesen verschiedenen Azimuthen entsprechenden Neigungen, so ist:

$$\cot^2\alpha' + \cot^2\alpha'' + \cot^2\alpha''' + \ldots$$
$$= \cot^2\alpha\left(\cos^2\omega + \cos^2\left(\omega + \frac{360^\circ}{n}\right)\right.$$
$$\left.+ \cos^2\left(\omega + \frac{2.360^\circ}{n}\right) + \ldots + \cos^2\left(\omega + \frac{(n-1)360^\circ}{n}\right)\right)$$

Nun ist aber:

$$\cos^2\omega + \cos^2\left(\omega + \frac{360^\circ}{n}\right) + \cos^2\left(\omega + \frac{2.360^\circ}{n}\right)$$
$$+ \ldots\ldots + \cos^2\left(\omega + \frac{(n-1)360^\circ}{n}\right) = \frac{n}{2}.$$

Also:

$$\cot^2\alpha = \frac{2}{n}(\cot^2\alpha' + \cot^2\alpha'' + \cot^2\alpha''' + \text{etc.}).$$

Um diese Formel auf die vorhergehenden Beobachtungen anzuwenden, muſs man erst die Mittel aus allen in derselben Verticalebene ausgeführten Beobachtungen nehmen. Man erhält so:

Azimuth	Mittel vor der Umkehrung der Pole.	Mittel nach der Umkehrung der Pole.	Mittel aus diesen beiden Mitteln.
30° und 210°	85° 25′,5	85° 24′,8	85° 25′,2
60 - 240	76 38,0	77 3,3	76 50,6
90 - 270	71 46,3	72 22,3	72 4,3
120 - 300	71 29,0	72 14,0	71 51,5
150 - 330	76 0,5	76 28,0	76 14,3
180 - 0	84 41,8	84 39,8	84 40,8

Es ist klar, dafs die in der letzten Colonne enthaltenen Mittel die wahren Neigungen der Nadel in den in der ersten Colonne angegebenen Azimuthen geben. Setzt man diese Werthe in die obige Formel, die für diesen Fall folgende Gestalt annimmt:

$$cot^2\alpha = 3(cot^2\alpha' + cot^2\alpha'' + cot^2\alpha''' + cot^2\alpha'''' + cot^2\alpha''''' \; cot^2\alpha'''''')$$

so erhält man:

$$\alpha = 71^\circ\, 20'\, 57''.$$

Dieser Werth ist sehr wenig von denjenigen Werthen verschieden, welche wir durch die Borda'sche Methode erhalten haben, d. h. durch Combination der Beobachtungen im magnetischen Meridian *).

Wenn man das Mittel aus acht in derselben Verticalebene ausgeführten Beobachtung als die wahre Neigung in dieser Ebene nimmt, so setzt man schweigend voraus, dafs die Intensität der magnetischen Kräfte der Nadel nach Umkehrung ihrer Pole dieselbe geblieben ist. Um uns davon vollständig zu überzeugen, wollen wir einige der angeführten Beobachtungen nach der Mayer'schen Formel berechnen, die keine solche Voraussetzung macht; bekommen wir durch diese Formel dasselbe Resultat, so ist gewifs, dafs sich die magnetische Kraft der Nadel durch Umkehrung der Pole nicht geändert hat.

*) Da diese Beobachtungen nicht genau an demselben Orte angestellt worden sind, als die Humboldt'schen und Hansteen'schen, so sind sie auch nicht genau mit denselben vergleichbar.

Wir wollen zu dieser Probe diejenigen Beobachtungen wählen, die die kleinste, und die die gröfste Neigung gegeben haben. Die kleinsten Werthe haben natürlich diejenigen Beobachtungen gegeben, die im magnetischen Meridian ausgeführt worden, nimmt man unter ihnen immer das Mittel aus je zwei Beobachtungen, in denen die Nadel dieselbe Lage im Raum hatte, so hat man folgende vier Werthe:

$$\Theta \;=71^\circ\; 18',0$$
$$\Theta' =70 \;\; 44,5$$
$$\Theta'' =71 \;\; 23,5$$
$$\Theta''' =71 \;\; 56,5.$$

Diese Werthe in die Formel

$$tang\, \alpha = \frac{(cot\, \Theta + cot\, \Theta''') - (cot\, \Theta' + cot\, \Theta'')}{cot\, \Theta\; cot\, \Theta''' - cot\, \Theta'\; cot\, \Theta''}$$

substituirt, geben:

$$\alpha = 71^\circ\; 20'\; 51'',$$

d. h. einen Werth, der von dem Mittel aus den acht Beobachtungen aufserordentlich wenig verschieden ist.

Für die gröfsten Neigungen endlich, d. h. für diejenige, die in den Azimuthen 30° und 230° ausgeführt worden, erhalten wir:

$$\Theta \;= \tfrac{1}{2}(84^\circ\; 54' + 85^\circ\; 21') = 85^\circ\;\; 7',5$$
$$\Theta' = \tfrac{1}{2}(86 \;\; 6 + 85 \;\; 11\,) = 85 \;\; 43,5$$
$$\Theta'' = \tfrac{1}{2}(86 \;\; 5 + 85 \;\; 14\,) = 85 \;\; 39,5$$
$$\Theta''' = \tfrac{1}{2}(84 \;\; 52 + 85 \;\; 28\,) = 85 \;\; 10,0,$$

welches giebt:

$$\alpha = 85^\circ\; 24',1.$$

Das Mittel aus den acht Beobachtungen ist 85° 25',2; der Unterschied ist also hier auch nicht grofs.

Wir wollen jetzt die Neigungen berechnen, die die Nadel in den verschiedenen Azimuthen, in welchen beobachtet wurde, hätte annehmen müssen, in der Voraussetzung, dafs die wahre Neigung 71° 20' 57" sey, wie wir vor der Combination aller Beobachtungen gefun-

den haben. Diese Rechnung ist leicht vermittelst der Formel

$$\cot \alpha' = \cot \alpha \cos \omega'$$

gemacht. Man findet so, wenn man

$\omega' = -77^\circ\ 22'$ $\omega'''' = +12^\circ\ 38'$

$\omega'' = -47\ \ 22$ $\omega''''' = +42\ \ 38$

$\omega''' = -17\ \ 22$ $\omega'''''' = +72\ \ 38$

setzt, folgende Werthe von α', α'', α''' etc.:

	Berechnet.	Beobachtet.	Differenz.
α'	$=85^\circ$ 46',7	85° 25',2	$-21',5$
α''	$=77$ 7,4	76 5,6	$-16,8$
α'''	$=72$ 7,2	77 4,3	$-\ 2,9$
α''''	$=71$ 46,3	71 51,5	$+\ 5,2$
α'''''	$=76$ 3,3	76 14,3	$+11,0$
α''''''	$=84$ 14,9	84 40,8	$+25,9$

Diese Zusammenstellung der beobachteten und berechneten Werthe zeigt uns, dafs die Differenzen auf der einen Seite des Meridians positiv, auf der andern negativ sind, welches von einer falschen Bestimmung des Azimuths des magnetischen Meridians herrühren kann. Wir wollen deshalb dieses Azimuth blofs aus den Beobachtungen, welche bei Berechnung obiger Neigung von $71^\circ\ 20'\ 57''$ benutzt worden sind, berechnen. Zu dem Ende haben wir folgende Formeln:

$$\cos \omega' = \frac{\cot \alpha'}{\cot \alpha}$$

$$\cos(\omega' - 30^\circ) = \frac{\cot \alpha''}{\cot \alpha}$$

$$\cos(\omega' - 60^\circ) = \frac{\cot \alpha'''}{\cot \alpha}$$

und so fort.

Vermittelst dieser Formeln findet man:

$\omega' \quad = -76^\circ\ 16',2$, welches giebt $\omega' = 76^\circ\ 16',2$

$\omega' - 30^\circ = -46\ \ 10,0$ - - $\omega' = 76\ \ 10,0$

$\omega' - 60 \ = -16\ \ 33,0$ - - $\omega' = 76\ \ 33,0$

$\omega' - 90° = +13° 53',0$, welches giebt $\omega' = 76° 7',0$
$\omega' - 120 = +43\ 28,3$ - - $\omega' = 76\ 31,3$
$\omega' - 150 = +73\ 59,0$ - - $\omega' = 76\ 1,0$

Um aus diesen verschiedenen Werthen von ω' den genauesten zu ziehen, muſs man, nach der bekannten Theorie der kleinsten Quadrate, die Gleichungen:

$$\omega' = 76° 16'$$
$$\omega'' = 76\ 10,0$$
$$\omega''' = 76\ 33,0$$
etc.

rsepectiv mit:

$$\left(\frac{d\,\alpha'}{d\,\omega'}\right)^2 = \sin^4 \alpha' \cot^2 \alpha \sin^2 \omega'$$

$$\left(\frac{d\,\alpha''}{d\,\omega''}\right)^2 = \sin^4 \alpha'' \cot^2 \alpha \sin^2 (\omega' - 30)$$

etc.

in Zahlen ausgedrückt multipliciren *), und hierauf ihre Summe nehmen. Man erhält so eine Endgleichung, die folgenden genauesten Werth von ω' giebt:

$$\omega' = 76° 12',8.$$

Wenn man diesen Werth in die obigen Formeln substituirt, so erhält man:

Berechnet.	Beobachtet.	Differenz.
$\alpha' = 85° 24',1$	85° 25',2	+1',1
$\alpha'' = 76\ 51,2$	76 50,6	—0,6
$\alpha''' = 72\ 2,6$	72 4,3	+1,7
$\alpha'''' = 71\ 51,1$	71 51,5	+0,4
$\alpha''''' = 76\ 18,4$	76 14,3	—4,1
$\alpha'''''' = 84\ 37,0$	84 40,8	+3,8

Die Modification von 1° 9',8, die das Azimuth des magnetischen Meridians durch diese neue Bestimmung erfahren hat, übt übrigens nur einen geringen Einfluſs auf den Werth der im magnetischen Meridian selbst beob-

*) $Cot^2\,\alpha$ verschwindet offenbar im Endresultat, und braucht deshalb nicht berechnet zu werden.

achtete Neigung aus, wie man sich leicht überzeugen kann. Man findet die Cotangente der Neigung im wahren magnetischen Meridian, wenn man die Cotangente der im Azimuth 1° 9',4 beobachteten Neigung durch den Cosinus dieses letzten Winkels dividirt; man findet so:

$$\alpha = 71° 20',4$$

statt der oben gefundenen Neigung von 71° 20',6.

II. Dieselbe Bussole.

Nadel *A*.

Den 9. Septemb. 1830.

Die Bussole hatte dieselbe Lage behalten, die sie in den vorigen Beobachtungen hatte. Die Nadel nahm eine senkrechte Stellung in folgenden Azimuthen an:

	191° 30'
	21 30
Azimuth des magnetischen Meridians	106° 30'.

Dieser Azimuth stimmt besser mit dem durch Rechnung gefundenen Azimuth 106° 12',8 zusammen.

Nun wurde die Neigung Θ in folgenden Azimuthen beobachtet:

Azimuthe.	I.	II.	III.	IV.	Mittel.
106° 30'	72° 21'	71° 28'	72° 19'	70° 57'	71° 26',6
286 30	70 45	71 44	70 40	71 19	
120 00	72 7	72 52	73 5	71 35	72 1,25
300 00	72 40	71 6	70 55	71 50	
60 00	76 18	78 8	77 36	76 40	76 48,25
240 00	77 00	75 40	76 4	77 0	
0 00	84 42	83 26	83 47	84 46	84 33,0
180 00	84 25	85 38	85 20	84 20	

Die Colonnen I und II enthalten die vor der Umkehrung, und die Colonnen III und IV die nach der

Umkehrung der Pole ausgeführten Beobachtungen; in II und IV ist die Nadel auf den Unterlagen umgekehrt.

Die drei letzten Mittel

$$\alpha' = 72^\circ \; 1',25$$
$$\alpha'' = 76 \; 48,25$$
$$\alpha''' = 84 \; 33,0$$

in der obigen Formel substituirt, geben:

$$\alpha = 71^\circ \; 25',5.$$

Die im magnetischen Meridian ausgeführten Beobachtungen, deren Mittel 71° 26',6 ist, geben, mit der Mayer'schen Formel berechnet:

$$\alpha = 71^\circ \; 26',9.$$

Berechnet man wieder nach der oben angeführten Methode den genausten Werth des Azimuths der magnetischen Meridiane, so findet man:

$$\omega''' = 106^\circ \; 5',$$

was wenig von dem durch directe Beobachtung gefundenen Werthe abweicht. Mit diesem Azimuth findet man folgende Neigung, die ich hier wieder mit der beobachteten zusammenstelle:

Berechnet.	Beobachtet.	Differenz.
$\alpha''' = 84^\circ \; 40',9$	84° 33',0	−7,9
$\alpha'' = 76 \; 52,7$	76 48,3	−4,4
$\alpha' = 71 \; 56,0$	72 1,3	+5,3

Man sieht, dafs diese Beobachtungen weit entfernt sind dasselbe Vertrauen zu verdienen, als die vorhergehenden. Wenn es erlaubt ist, die in der letzten Colonne enthaltenen Differenzen als Fehler der Beobachtungen anzusehen, so ist die in der Nähe des magnetischen Meridians beobachtete Neigung um 5' zu grofs; und dafs ist gerade der Unterschied der Ergebnisse dieser und der vorhergehenden Beobachtungen.

Die Bussole für die Variationen der Neigung stand am 8. Sept. im Mittel auf 4th.,883, am 9. auf 4th.,953.

Es ist aber $1^{th.} = 6'$; die Neigung hat sich also vom 8. auf den 9. Sept. nicht mehr als eine halbe Minute vermehrt.

Man sieht also, dafs die Resultate der Beobachtung Θ mit den Nadeln A und B in der That um 5′ bis 6′ von einander verschieden sind.

Dieser Unterschied ist wahrscheinlich Unregelmäfsigkeit in der Figur der Axe der Nadel A zuzuschreiben. Dem sey indefs wie ihm wolle, so sieht man jedenfalls aus der obigen Tabelle, dafs die aus dieser unbekannten Quelle entstehenden Divergenzen bei $\alpha = 77°$ positiv, bei $\alpha = 72°$ negativ sind; es ist deshalb wahrscheinlich, dafs sie bei einem Mittelwerth von α ganz verschwinden. Ich wiederholte deshalb die Beobachtungen mit derselben Nadel, doch in solchen Azimuthen, dafs in zweien derselben *) die Neigungen nahe 74° betrugen. Diese Beobachtungen, die am 10. Sept. vorgenommen worden, sind in folgender Tabelle enthalten.

III. Bussole des Observatoriums.
Nadel A.

Azimuthe.	I.	II.	III.	IV.	Mittel.
330° 00′	72° 15′	73° 28′	73° 17′	72° 28′	73° 11′,5
150 00	74 00	72 52	73 3	74 9	
30 00	88 13	89 12	89 13	88 14	88 57,4
210 00	89 42	88 35	88 35	89 55	
90 00	74 32	73 58	73 42	75 00	74 5,9
270 00	73 15	74 18	74 18	73 44	

Diese Beobachtungen geben, auf die bekannte Weise berechnet:

$$\alpha = 71° 15',3.$$

Wenn man nun wieder den genauesten Werth von ω'

*) Es ist offenbar nicht möglich, allen dreien Azimuthen einen solchen Werth zu geben, da sie um 60° von einander entfernt seyn müssen.

sucht, nach der oben angewandten Methode, so findet man:

$$\omega' = 26^\circ\ 58',6,$$

und indem man diesen Werth in der Formel substituirt erhält man:

Berechnet.	Beobachtet.	Differenz.
$\alpha' = 73^\circ\ 10',4$	$73^\circ\ 11',5$	$+1',1$
$\alpha'' = 88\ \ 58,4$	$88\ \ 57,4$	$-1,0$
$\alpha''' = 74\ \ \ 7,0$	$74\ \ \ 5,9$	$-1,1$

Die dritte Colonne, welche die Differenzen der Rechnung und Beobachtung enthält, zeigt uns, dafs der aus dieser Beobachtung gezogene Werth von α mehr Vertrauen verdient, als der früher gefundene; und das geht in der That auch schon daraus hervor, dafs es mit dem zuerst gefundenen Resultat, welches die Neigung zu 71° 20',5 gab, besser übereinstimmt; denn die Neigung hatte sich, wie aus meiner Formel für die Variationen der Neigung hervorgeht, vom 8. auf den 10. Sept. um etwa 3' verringert; so dafs die wahre Neigung wohl an diesem Tage 71° 17',5 betragen mochte.

Beobachtungen an demselben Tage und mit derselben Nadel im magnetischen Meridian angestellt, gaben:

$$\alpha = 71^\circ\ 22',0.$$

Da die beiden Nadeln, auf dieselbe Art beobachtet, immer denselben Unterschied (von beiläufig 5') zeigen, so müssen wohl keine Beobachtungsfehler daran Schuld seyn, sondern irgend ein constanter Fehler in der Construction der Nadel selbst.

Von den folgenden Beobachtungen, die in der der Academie vorgelesenen Originalabhandlung alle ausführlich mitgetheilt sind, theile ich nur die Resultate mit:

IV. Bussole des Observatoriums.
Nadel *B*. Den 12. Sept. Mittags.

Im magnetischen Meridian, nach Borda's Methode	71° 18',1
Aufser dem magnetischen Meridiam, in dreien um 120° von einander entfernten Azimuthen	71° 17,3

Die Variationsnadel zeigte eine um 2',4 kleinere Neigung als am 8. September. Hiernach müfste die Neigung 71° 18',5 betragen.

V. Dieselbe Bussole.
Nachdem die Achatplatten, auf den die Axe der Nadel ruht, mit Sorgfalt horizontal gestellt worden waren. Mittags den 18. Sept. 1830.

Alle Beobachtungen wurden im magnetischen Meridian gemacht, nach der Borda'schen Methode:

Nadel *B*	71° 20',5
Nadel *A*	71 25,5

Die Bussole für die Variationen der Neigung zeigte keine Veränderung derselben seit dem 12. Sept. Vielleicht sind diese Beobachtungen nicht ganz mit den vorhergehenden vergleichbar, indem sie in einiger Entfernung vom magnetischen Observatorium, unter freiem Himmel angestellt wurden.

VI. Dieselbe Bussole.
Nadel *B*. Den 8. October zwischen 1 und 3 Uhr Nachmittags.

Nach der Borda'schen Methode . . .	71° 19',8
Nach der Mayer'schen Methode, mit einem an der Seite der Nadel befestigten Stückchen Siegellack	71 17,8

VII. Dieselbe Bussole.
Nadel *A*. Den 3. November 1830, Mittags.

Borda'sche Methode	71° 39',2
Mayer'sche Methode	71 20,3.

Hier giebt die Borda'sche Methode mit der Nadel

A wieder ein durchaus falsches Resultat; die Mayer'sche ein besseres, doch immer ein zu großes, wie wir sogleich sehen werden.

Ich beobachtete jetzt dieselbe Nadel nach einer Methode, die schon Hansteen angewandt hat; man läßt nämlich die Nadel so einrichten, daß ihre Axe herumgedreht werden kann, und macht nun zwei Reihen von Beobachtungen, von denen man das Mittel nimmt, die erst auf die gewöhnliche Art, und die zweite, nachdem man die Axe um 90° gedreht hat. Um dieß mit Bequemlichkeit thun zu können, ließ ich die Nadel auch bei *c* und *d* durchbohren (Fig. 14 Taf. IV), so daß die Schrauben *f*, *g*, welche die Axe *AB* an die Nadel befestigen, und durch die Löcher *a*, *b* gehen, auch durch die Löcher *c*, *d* gesteckt werden können. Ich erhielt jetzt mit derselben Nadel *A* folgende Resultate.

VIII. Den 23. November 1830.

Vor der Umdrehung der Axe	71° 13',4
Nachdem die Axe um 90° gedreht worden	71 15,2

Das Mittel aus diesen Beobachtungen ist 71° 41',3. Wir werden sehen, daß dieses in der That die wahre Neigung war. Diese Beobachtungen können mit den früheren nicht verglichen werden, weil die Bussole für die Variationen der Neigung an einen anderen Ort war gebracht worden, so daß die Resultate, die sie jetzt giebt, mit den früheren nicht mehr vergleichbar sind.

IX. Humboldt'sche Bussole.
Den 27. November 1830.

Nadel *A*.	Borda'sche Methode	71° 6',3
	Mayer'sche Methode, mit einem Lackklümpchen	71° 10',7
Nadel *B*.	Borda'sche Methode	71° 14',6
	Mayer'sche Methode	71° 14',6

Die genaue Uebereinstimmung zwischen den beiden

Resultaten der Nadel *B* giebt diesen allerdings den Vorzug; auch kommt dieses Resultat vollkommen mit dem vorhergehenden (VIII) überein. Die Variationsnadel zeigte keine Veränderung von Belang in der Neigung seit dem 23. November an.

Dieser Unterschied zwischen der Nadel *A* und *B* ist schon von Hrn. v. Humboldt selbst beobachtet worden (siehe die oben angeführte Note in den *Mém. de l'Acad. de St. Petersbourg*).

X. Nertschinsker Bussole.
Den 28. November 1830. Borda'sche Methode.

Nadel *A*	71° 16',4
Nadel *B*	71° 13,9.

Die Bussole für die Variation der Neigung zeigte eine Verminderung der Neigung 0',7 seit dem 27. November an. Das Resultat der Nadel *B* der Nertschinsker Bussole stimmt aber vollkommen mit dem vorhergehenden Resultat der Nadel *B* der Humboldt'schen Bussole überein.

XI. Nertschinsker Bussole.
Den 3. December 1830.

Nadel *B*. Borda'sche Methode 71° 15',3

Die Bussole für die Variationen der Neigung, die übrigens an diesem Tage einen ziemlich unregelmäfsigen Gang hatte, zeigte eine Vermehrung von etwa 1' in der Neigung an.

XII. Dieselbe Bussole.
Den 4. December 1830.

Nadel *A*.	Borda'sche Methode	71° 13',5
Nadel *B*.	Borda'sche Methode	71 12,6
	In drei um 120° von einander entfernten Azimuthen beobachtet	71 14,1

Die Bussole für die Variationen der Neigung zeigte

eine Abnahme von 1',5 in der Neigung seit dem 3. December an.

XIII. Humboldt'sche Bussole.
Den 16. December 1830.

Nadel *B*. Borda'sche Methode 71° 15',3.

Die Bussole für die Variationen der Neigung zeigte an, dafs sich die Neigung seit dem 27. November nur etwa um 0',1, und seit dem 4. Decemb. um 1',3 vermehrt hatte.

Da die in der Beobachtung IX angewandte Mayer'sche Methode den Fehler der Nadel *A* der Humboldt'schen Bussole nicht ganz hatte verschwinden gemacht, so wünschte ich die Methode zu versuchen, von der schon die Rede gewesen ist, und welche darin besteht, dafs man die Axe der Nadel um 90° dreht, und nun eine zweite Reihe von Beobachtungen macht. Da aber die Axe der Humboldt'schen Nadel nicht zum Abnehmen eingerichtet war, so suchte ich mir auf folgende Weise zu helfen. Ich befestigte erst ein Stückchen Siegellack an der einen Seite der Nadel, und machte nun eine vollständige Reihe von Beobachtungen nach der Mayer'schen Methode. Es ist klar, dafs nach Umkehrung der Pole sich das Stückchen Siegellack auf der anderen Seite der Nadel befand. Nun wurde das Stückchen Siegellack so lange vermindert, bis die Nadel eine solche Neigung bekam, dafs sie ungefähr einen rechten Winkel mit der Stellung machte, die sie in der ersten Beobachtung der ersten Reihe angenommen hatte. Nun war mein Zweck erreicht, und ich machte eine zweite Reihe von Beobachtungen.

Da diese Methode von Nutzen seyn kann, so setze ich die beiden Reihen von Beobachtungen vollständig her, damit man einen klaren Begriff von denselben bekomme.

XIV. Den 18. December 1830.

	Erste Reihe.	Mittel	Zweite Reihe.	Mittel
Azimuth 0°	27° 1′	27° 27′,5	115° 55′	116° 28′,0
- 180°, die Nadel auf den Unterlagen umgekehrt	27 54		117° 1	
Azimuth 0°	139 23	139 54,0	40 25	40 51,5
- 180°, die Nadel abermals auf den Unterlagen umgekehrt	140 25		41 18	

Und nach Umkehrung der Pole der Nadel:

	Erste Reihe.	Mittel	Zweite Reihe.	Mittel
Azimuth 0°	34° 1	34° 24,	114° 20′	114° 54′
- 180°, die Nadel auf den Unterlagen umgekehrt	34 48		115 28	
Azimuth 0°	129 10	129 39,0	39 8	39 34
- 180°, die Nadel abermals auf den Unterlagen umgekehrt	130 8		40 0	

Die erste Reihe giebt	71° 17′,8
Die zweite Reihe	71 13,1
Mittel	71° 15′,5

Die Variationsbussole zeigte eine um 0',5 gröſsere Neigung an, als den 16. December.

Denselben Tag wurde noch die Nertschinskische Nadel B beobachtet, in sechs um 60° von einander abstehenden Verticalebenen, unter denen sich der magnetische Meridian selbst auch befand. Die Combination aller Beobachtungen gab:

$$\alpha = 71^{\circ}\ 12',6.$$

Die im magnetischen Meridian ausgeführten Beobachtungen gaben für sich allein:

$$71^{\circ}\ 15',0.$$

Das erste Resultat ist wohl etwas zu klein.

XV. Humboldt'sche Bussole.
Nadel B. Den 7. Januar 1831 Mittags.

Borda'sche Methode gab . . . . 71° 14',9

XVI. Bussole des Observatoriums.
Den 19. Februar 1831 Mittags.

Nadel B. Borda'sche Methode . . . . . 71° 15',0

Neue Formel.

Die Mayer'sche Formel ist nur da anwendbar, wo die Werthe von Θ und Θ' sehr verschieden sind. Denn ist $\Theta = \Theta'$, so haben wir nur zwei Gleichungen zur Bestimmung von drei unbekannten Gröſsen; und ist Θ nur wenig von Θ' verschieden, so wird die Bestimmung der Neigung nach der Mayer'schen Methode unsicher.

Die Borda'sche Methode ist nur da anwendbar, wo es dem Künstler gelungen ist, dem Schwerpunkt der Nadel eine sehr geringe Entfernung vom Mittelpunkt der Drehung zu geben; sie setzt überdieſs voraus, daſs die magnetische Kraft der Nadel sich durch die Umdrehung der Pole nicht ändert, was nicht immer der Fall ist.

Es ist aber wünschenswerth eine Formel zu finden, die

die auf diese Aenderung der Intensität Rücksicht nimmt, und doch den Fall, wo Θ nahe gleich Θ' ist, nicht ausschliefst.

Diese Formel ist leicht zu finden; man braucht nur aufser der Neigung noch die Zeit zu beobachten, welche die Nadel braucht, um eine gewisse Anzahl von Schwingungen in ihren verschiedenen Stellungen zu vollbringen.

In der That, es sey v die Zeit einer unendlich kleinen Schwingung der Nadel, wenn deren Neigung gleich Θ ist, und k der Trägheitsmoment der Nadel, so hat man *

$$v = \pi \sqrt{\frac{k \sin \Theta}{r \sin \alpha - t \sin \gamma}},$$

wo r, t und γ dasselbe bedeuten, wie in Vorhergehendem.

Wir können nun eben solche Gleichungen für die Neigungen Θ', Θ'', Θ''' bilden, bei welchen eine unendlich kleine Schwingung in den Zeiten v', v'', v''' vollbracht wird. Wir wollen sie überdiefs in's Quadrat erheben, und den gemeinschaftlichen Factor π, der doch nachher herausfällt, weglassen. Wir erhalten so:

$$\frac{v^2}{k} = \frac{\sin \Theta}{r \sin \alpha - t \sin \gamma}$$

$$\frac{v'^2}{k} = \frac{\sin \Theta'}{r \sin \alpha - t \sin \gamma}$$

$$\frac{v''^2}{k} = \frac{\sin \Theta''}{r' \sin \alpha + t \sin \gamma}$$

$$\frac{v'''^2}{k} = \frac{\sin \Theta'''}{r' \sin \alpha + t \sin \gamma}$$

und hieraus:

$$r \sin \alpha - t \sin \gamma = \frac{k \sin \Theta}{v^2} = \frac{k \sin \Theta'}{v'^2}$$

$$r' \sin \alpha + t \sin \gamma = \frac{k \sin \Theta''}{v''^2} = \frac{k . \sin \Theta'''}{v'''^2}$$

Substituirt man diese Werthe in den Gleichungen

*) S. die oft citirte Abhandlung Euler's.

(I), (II) und (III), die wir im Anfange dieser Abhandlung kennen gelernt haben, so erhält man:

$$\cos\Theta = \frac{\varrho^2}{k}(r\cos\alpha + t\cos\gamma)$$

$$\cos\Theta' = \frac{\varrho'^2}{k}(r\cos\alpha - t\cos\gamma)$$

$$\cos\Theta'' = \frac{\varrho''^2}{k}(r'\cos\alpha - t\cos\gamma)$$

$$\cos\Theta''' = \frac{\varrho'''^2}{k}(r\cos\alpha + t\cos\gamma)$$

ferner:

$$\cos\Theta + \cos\Theta' = \frac{2r\cos\alpha}{k}(\varrho^2 + \varrho'^2)$$

$$\cos\Theta'' + \cos\Theta''' = \frac{2r'\cos\alpha}{k}(\varrho''^2 + \varrho'''^2),$$

und endlich:

$$\frac{r'}{r} = \frac{(\varrho^2 + \varrho'^2)}{(\varrho''^2 + \varrho'''^2)} \cdot \frac{(\cos\Theta'' + \cos\Theta''')}{(\cos\Theta + \cos\Theta')}$$

Die Gleichungen (I), (II) und (III) geben nun aber unmittelbar:

$$\cot\Theta(r\sin\alpha - t\sin\gamma) = r\cos\alpha + t\cos\gamma$$
$$\cot\Theta'(r\sin\alpha - t\sin\gamma) = r\cos\alpha - t\cos\lambda$$
$$\cot\Theta''(r'\sin\alpha + t\sin\gamma) = r'\cos\alpha - t\cos\gamma$$
$$\cot\Theta'''(r'\sin\alpha + t\sin\gamma) = r'\cos\alpha + t\cos\gamma$$

hierauf:

$$r\sin\alpha - t\sin\gamma = \frac{2r\cos\alpha}{(\cot\Theta + \cot\Theta')}$$

$$r'\sin\alpha + t\sin\gamma = \frac{2r'\cos\alpha}{\cot\Theta'' + \cot\Theta'''},$$

also endlich:

$$\tang\alpha\left(1 + \frac{r'}{r}\right) = 2\left[\frac{1}{\cot\Theta + \cot\Theta'} + \frac{r'}{r(\cot\Theta'' + \cot\Theta''')}\right]$$

Substituirt man in dieser Gleichung den eben gefundenen Werth von $\frac{r'}{r}$, und macht der Kürze wegen:

$$\frac{v^2 + v'^2}{\cos\Theta + \cos\Theta'} = A \qquad \frac{1}{\cot\Theta + \cot\Theta'} = C$$

$$\frac{v''^2 + v'''^2}{\cos\Theta'' + \cos\Theta'''} = B \qquad \frac{1}{\cot\Theta'' + \cot\Theta'''} = D,$$

so erhält man:

$$\tfrac{1}{2}\,\mathrm{tang}\,\alpha = \frac{AD + BC}{A + B}.$$

Da es hier nur auf Verhältnisse ankommt, so braucht man nur immer die Dauer von derselben Anzahl von Schwingungen, mit derselben Anfangs-Amplitude anfangend, zu beobachten. Die nachstehenden Beobachtungen sind mit dieser Formel berechnet worden.

XVII. Bussole des Observatoriums. Nadel *B*, Den 24. Februar 1831.

Die Nadel machte vor der Umkehrung der Pole 50 Oscillationen, von einer Elongation von 10° auf jeder Seite angefangen, in 2' 7", und zeigte, im Mittel der vier Beobachtungen, eine Neigung von 71° 34',5; nämlich:

$$\Theta' = 71°\,21',5 \text{ und } \Theta' = 71°\,47',5.$$

Nach Umkehrung der Pole (welche absichtlich mit schwächeren Magneten bewerkstelligt wurde) machte sie dieselbe Anzahl von Schwingungen in 2' 36", und zeigte eine Neigung von 70° 49',25; nämlich $\Theta'' = 70°\,29'$ und $\Theta''' = 71°\,9',5$. Da die Dauer der Schwingungen nicht bei jeder Stellung der Nadel beobachtet worden ist (diese war in der That unnütz, da die Werthe von Θ und Θ', und die von Θ'' und Θ''' sehr wenig von einander abwichen), so sind wir gezwungen $v = v'$ und $v'' = v'''$ zu setzen. Wir können auch $\cos\Theta + \cos\Theta' = 2\cos\tfrac{1}{2}(\Theta + \Theta')$ und $\cos\Theta'' + \cos\Theta''' = 2\cos\tfrac{1}{2}(\Theta'' + \Theta''')$ setzen. Substituirt man nun diese Werthe in der obigen Formel, so erhält man:

$$\alpha = 71°\,16',5.$$

Wenn man aus den obigen Beobachtungen schlechtweg das Mittel nimmt, so erhält man 71° 11',9.

Als die Nadel wieder eben so kräftig magnetisirt worden war, wie in der ersten Beobachtungsreihe (als sie 50 Oscillationen in 2' 7" machte), nur mit umgekehrten Polen, gab sie eine Neigung von 70° 58',5; diese Beobachtung mit dem Resultat der ersten Beobachtungsreihe combinirt, giebt:

$$\alpha = 71^\circ\ 16',4.$$

XVIII. Bussole des Observatoriums.
Nadel *B*. Den 27. Februar 1831.

Erste Reihe. Die Nadel macht 50 Oscillationen in 2' 5",6:

$$\Theta = 70^\circ\ 57'; \quad \Theta' = 71^\circ\ 6'.$$

Zweite Reihe. Die Pole werden umgekehrt. Die Nadel macht 50 Oscillationen in 2' 1",6:

$$\Theta'' = 71^\circ\ 31'; \quad \Theta''' = 71^\circ\ 27'.$$

Dritte Reihe. Die magnetische Kraft der Nadel wurde so weit geschwächt, dafs sie 2' 18",8 brauchte, um 50 Schwingungen zu machen:

$$\Theta'' = 71^\circ\ 29'; \quad \Theta''' = 71^\circ\ 38',5.$$

Vierte Reihe. Die magnetische Kraft der Nadel wurde noch mehr geschwächt, so dafs sie 4' 6" brauchte, um 50 Oscillationen zu machen:

$$\Theta'' = 71^\circ\ 59',0; \quad \Theta''' = 72^\circ\ 22',5.$$

Das Mittel aus der ersten und zweiten Reihe ist 71° 15',3
Nach unserer Formel berechnet geben diese beiden Reihen 71 15,5
Das Mittel aus der ersten und dritten Reihe ist 71 17,6
Nach unserer Formel berechnet geben diese beiden Reihen 71 16,0
Das Mittel aus der ersten und vierten Reihe ist 71 36,2
Nach unserer Formel berechnet geben diese beiden Reihen 71 15,8

XIX. Den 31. März 1831.

Ich hatte eine neue Nadel zur Axe der Nadel *A* der Bussole des Observatoriums anfertigen lassen, die absichtlich sehr schlecht aequilibrirt war.

Es wurden 120 Oscillationen gezählt.

Ich fand folgende Werthe:

$$\Theta = 81^\circ\ 10',5;\quad v = 225'',2$$
$$\Theta' = 78\ \ 50,0;\quad v' = 225,7.$$

Als die Pole umgekehrt wurden, gab ich der Nadel einen viel schwächeren Magnetismus, so dafs sich die Nadel gar nicht einmal umkehrte, sondern mit dem Südpol sich nach unten richtete; sie gab nun:

$$\Theta'' = 270^\circ\ 47';\quad v'' = 357'',8$$
$$\Theta''' = 277\ \ 31;\quad v''' = 364,0.$$

Die Winkel sind, wie immer, vom Horizonte ab nach oben hinauf bis zur Südspitze der Nadel gezählt.

Diese Werthe in unsere Formel substituirt, geben:

$$\alpha = 71^\circ\ 20',5.$$

Die Variationsbussole zeigte eine Zunahme der Neigung von 2',5 seit dem 27. Februar an.

(Wird vom Verfasser fortgesetzt.)

II. *Bestimmung der magnetischen Declination, Inclination und Intensität für Berlin.*

(Aus einem Schreiben des Hrn. Dr. Erman an den Herausgeber.)

— Bei der steten Aufmerksamkeit, die Sie in den Annalen der Messung periodischer Schwankungen der magnetischen Erscheinungen geschenkt haben, glaube ich, es könne Ihnen angenehm seyn, diese Veränderungen nun auch an absolute Gröfsen zu knüpfen, deren Bestimmung für einen jeden Ort, wie es mir scheint, der Beobachtung der Variationen eben so sehr vorhergehen müfste,

wie man in der Astronomie zuerst die normale Bewegung der Weltkörper und sodann die Störungen, welche letztere erleidet, bestimmt hat. Ich habe mir daher im Folgenden einige für *Berlin* geltende, absolute Bestimmungen zusammenzustellen erlaubt.

I. Declination (auf den wahren Mittag reducirt.)		Gleichzeitiger Betrag der täglichen Veränderung.	Jährliche Abnahme.
1825 October . .	17° 40′ 15″,0 W.	19′ 50″	
1828 April 8. . .	17 34 47,5 -	21 0	2′ 11″
1831 Juli 3. . .	17 23 57,2 -	8 25	3 19

II. Inclination.		Jährliche Abnahme.
1812	69° 15′ 37″	
		2′ 56″
1824 November	68 50 45	
		2 30
1826 November	68 45 45	
		5 34
1828 April	68 37 53	
		7 56
1831 Mai	68 14 3	

III. Intensität.

Nach der von Poisson als absolutes Intensitätsmaafs vorgeschlagenen Bestimmung, und mit Annahme der Einheiten: für das Längenmaafs: die Pariser Linie; für das Gewichtsmaafs: das Pfund Medicinalgewichts zu 100 224 Richtpfennigen; für das Zeitmaafs: die Secunde mittlerer Zeit erhielten wir im

April 1828: Horizontalcomponente 0,00440
Totale Kraft 0,01294.

Ueber die Vergleichung des letzteren Ausdrucks mit der im Jahre 1830 unter dem magnetischen Aequator von mir beobachteten Gröfse der Kraft werde ich mir später Ihnen zu berichten erlauben.

Mehreres Detail über die den Jahren 1812 bis 1828 angehörigen Bestimmungen findet sich in den *Denkschriften der Berliner Academie* für 1828. Die Bestimmun-

gen im Jahre 1831 sind ebenfalls mit dem dort näher bezeichneten Instrumente erhalten. —

Zusatz. Die erwähnte Abhandlung, aus der die obigen Angaben, mit Ausnahme der von 1831, entnommen worden sind, führt den Titel: *Ueber die magnetischen Verhältnisse der Gegend von Berlin*, von Paul Erman, und sie enthält aufser dem auf die Bestimmung der magnetischen Elemente sich beziehenden Detail, noch einige durch den Hauptgegenstand angeregte Beobachtungen von allgemeinerem Interesse, deren Mittheilung wir uns hier um so weniger versagen können, als wahrscheinlich nur eine kleine Zahl der Leser Gelegenheit hat, das Original zur Hand zu nehmen.

»Ich ergreife diese Gelegenheit, bemerkt der Verfasser, einen Gegenstand von sehr grofsem Interesse zur Sprache zu bringen, über den meines Wissens noch keine kritische Beleuchtung offenkundlich geworden ist. Herr Hansteen bemerkte vor mehreren Jahren am Thurm der Sternwarte zu Copenhagen, dafs wenn der Thurm im Süden der Schwingungsnadel stand, die Oscillationen oben sehr bedeutend verzögert, und unten eben so stark beschleunigt wurden, und umgekehrt, unten verzögert und oben beschleunigt, wenn der Thurm im Norden der Nadel war. Jeder aufrecht gestellte Stab von Stahl oder Eisen zeigt diesen Erfolg, weil, wie bekannt, in dieser Stellung das obere Ende südlich und das untere Ende nördlich wird, und daher der Südpol der schwingenden Nadel angezogen und beschleunigt wird vom unteren Ende, und abgestofsen und verzögert vom obern, wenn der Stab in Süden steht; und umgekehrt, wenn er im Norden der Nadel sich befindet.«

»Hr. Hansteen, abstrahirend von der möglichen Gegenwart von eisernen Ankern im Thurm der Sternwarte, und getäuscht, wie ich glaube, durch denselben Umstand

bei anderen Gegenständen, die er auf diese Weise beobachtete, stellte den Satz auf, daſs jeder aufrechtstehende Gegenstand, welche auch seine chemische Constitution sey, dieselbe tellurisch-magnetische Polarität annehme, wie das Eisen und viele andere Metalle, nur in einem viel schwächeren Grade. Dieſs war an sich den bekannten Coulomb'schen und Brügman'schen Versuchen, welche die magnetische Polarität nicht bloſs bei allen Metallen, sondern auch bei nichtmetallischen Körpern, wie Glas, Knochen etc., nachzuweisen scheinen analog; und seit dem die innigen Beziehungen der Elektricität mit dem Magnetismus in ein so helles Licht getreten sind, konnte man eine Analogie muthmaſsen zwischen dieser magnetischen Polarität, und der elektrischen, die, wie ich vor langer Zeit glaube erwiesen zu haben, bei jedem im Freien senkrecht auf dem Boden stehenden Körper eintritt. Ich muſs mich daher anklagen, an die Prüfung dieser behaupteten magnetischen Polarität der Thürme und Bäume gegangen zu seyn, mit dem Wunsche, sie bestätigt zu finden.«

»Ganze Hefte des Tagebuchs füllte ich mit Schwingungszahlen im Norden und im Süden der Thürme der Sophien-Kirche in Berlin, der Heiligengeist-Kirche und des Belveders in Potsdam und mancher isolirt stehender hohen Bäume. Aber immer fielen schon bei den einzelnen zusammengehörigen Reihen die sehr kleinen unvermeidlichen Unterschiede bald positiv, bald negativ aus, und die mittleren zeigten eine völlige Identität für beide Stellungen, so daſs ich gezwungen bin anzunehmen, diese magnetische Polarität existire nicht bei unmetallischen Körpern, oder wenigstens nicht in dem Grade, daſs man sie durch Schwingung-Zählen wahrnehmen könne; auch erfuhr ich später, daſs im Bau des Thurmes der Kopenhagener Sternwarte sehr viel Eisen so verwendet sey, daſs es Hrn. Hansteen leicht entgehen konnte, und einen vorübergehenden Irrthum einführen, der nicht im Mindesten Abbruch thun darf unserem wohlgegründeten

Zutrauen zur oscillatorischen Methode überhaupt, und zu der musterhaft genauen und umsichtigen Weise, wie sie Hr. Hansteen ausübt.«

»Einige Mal hatte ich früher schon von Civil- und Militair-Feldmessern die Behauptung vernommen, dafs die Nähe hoher Bäume der Richtigkeit des Einspielens der Bussole Abbruch thue; der negative Erfolg der eben erwähnten Oscillationsbeobachtungen vernichtet diese Behauptung durchaus; aber die Nähe jedes senkrecht stehenden Eisens, und wahrscheinlich auch nur in fast verschwindenden Graden die vieler anderen Metalle, ist um so mehr zu berücksichtigen, wie seit Flinder's Zeiten die Untersuchungen von Barlow, Sabine und Le Comte gezeigt haben, da jedes Eisen immer im Sinne seiner senkrechten Dimension tellurisch bedingte Polarität hat, so dafs die Ablenkung, die es bewirkt, höchst anomal ausfällt, je nachdem es sich im Norden oder Süden der Nadel befindet, oder überhaupt nach dem relativen Azimuth des eisernen Gegenstandes zur Bussole.«

»Das eiserne Denkmal auf dem Kreuzberge bei Berlin ist ausgezeichnet geeignet zu classischen Beobachtungen über diesen Gegenstand. Auf freiem Felde, ganz aufserhalb des Wirkungskreises, war am 15. December 11 Uhr Morgens die Dauer von zehn Schwingungen 25",40 Secunden. 4 Fufs 4 Zoll von dem jedesmaligen äufsersten Vorsprung des Monumentes war dieselbe Dauer 32",40, wenn es im Norden der Nadel war, und nur 18",45, wenn es sich im Süden derselben befand. Es ergiebt sich aus diesen Zahlen, dafs die Kraft, welche im ersteren Falle der Erdkraft entgegenwirkend, im letzteren sich ihr hinzufügend vorhanden war, 0,5103 oder nahe die Hälfte der Wirkung der Erde betrug, in sofern man nur annehmen darf, dafs der Mittelpunkt der Kräfte sich wirklich beide Male im magnetischen Meridiane des Beobachters befand. Unter derselben Annahme erhält man durch Rechnung die Schwingungszeit der der Erdwirkung allein ausgesetzten Nadel zu 26",36, während

die wirklich beobachtete 25″,52 war, ein Mangel an Uebereinstimmung, der wohl füglich in der Unvollkommenheit der jedesmaligen Fortschreitung im magnetischen Meridiane gesucht werden kann, ohne dafs es nöthig sey, eine unsymmetrische Kraftvertheilung an der untersuchten Eisenmasse anzunehmen. Eben so betrug in den Entfernungen von 16′ 2″ von den jedesmaligen äufsersten Vorderflächen des Monuments:

Beobachtete südliche Schwingungszeit		28″,97
- nördliche	-	22 ,42

woraus sich für diese Entfernung die Gröfse der additionellen Kraft zu 0,2508 der Erdwirkung, und die unter obiger Voraussetzung berechnete Schwingungszeit der Nadel im Freien zu 25″,90, d. h. noch näher übereinstimmend mit der wirklich beobachteten ergiebt.«

»Sollten die hier beobachteten Kraftverhältnisse mit der Abnahme der magnetischen Anziehung im Verhältnifs der Quadrate der Entfernungen in Uebereinstimmung seyn, so müfste man den Mittelpunkt der Kraft um 24 Fufs von der Vorderfläche des Monuments entfernt annehmen; stände die Anziehung im Verhältnifs der Entfernungen, so würde er um 8 F. von derselben Fläche entfernt liegen müssen; nach den Dimensionen des Monuments möchte die Beobachtung ersterem Verhältnisse den Vorzug anweisen. Wie wichtig wird es seyn, die Perioden dieser Polarität zu verfolgen im Laufe eines ganzen Jahres und zu bestimmten Tagesstunden; und auch den Einflufs der Temperatur, den des Gewitters und des Polarlichts von diesem colossalen Apparat mit entschiedener Bestimmtheit abzulesen. Wahrlich ein Schatz magnetischen Wissens liegt in diesem Denkmal.«

»Am Schlusse dieses Berichts über oscillatorisch gemessene Intensitäten erlaube ich mir nur noch zweier durch diese Methode erhaltenen Resultate zu erwähnen, wodurch nebenbei die vielfache Anwendbarkeit derselben in's Licht treten mag.«

1) »Viele Landfeldmesser behaupten, dafs bei strenger Kälte die Bussolnadel viel von ihrer Beweglichkeit verliere, und legen es so aus, als wenn die dirigirende tellurische Thätigkeit an sich vermindert wäre; und die Wallfischfänger, die da sehen, dafs in der Kälte der hohen nördlichen Breiten die Bussolnadel fast unbeweglich bleibt, halten diese Verminderung der Thätigkeit factisch erwiesen. Scoresby zeigte das Unstatthafte dieser Auslegung durch die ganz einfache Thatsache, dafs der in der Kälte des Binakels auf dem Verdeck unbeweglich gewordene Compafs wiederum richtig einspielt, wenn man ihn in die erwärmte Cajute bringt, was übrigens Ellis bei seinen Seereisen im hohen Norden schon that, um nach dem Compasstrich fahren zu können; er bezieht daher die durch Kälte bedingte Trägheit der Nadel auf ein gröfseres Frictionsmoment, der Condensation des Hütchens und der Spitze entsprechend. Wohl hat er hierin Recht, aber der Beweis ist nicht vollständig, denn ein dritter Fall ist denkbar, dafs nämlich die condensirende Kälte die Nadel selbst modificire, und gleichsam ihre Fähigkeit, von der magnetischen Thätigkeit afficirt zu werden, vermindere, ungefähr wie wir sehen, dafs gehärteter Stahl schwerer zu polarisiren ist, als ehe er durch Abkühlung condensirt wurde. In dieser Annahme blieb Scoresby's Beweis mangelhaft, denn man konnte immer einwenden, nicht blofs das Reibungsmoment habe sich geändert, sondern im erwärmten Raume sey die Nadel selbst gleichsam wieder aufgethaut für die magnetische Einwirkung. Doch die oscillatorische Methode bewies den Ungrund dieser Annahme, und dafs eine ohne alle Reibung schwingende Nadel in den Temperaturen +13 und −9,5 nur einen im entgegengesetzten Sinne liegenden Unterschied ihrer dirigirenden Kraft angiebt, dieser aber weit kleiner ausfällt, als der vorausgesetzte der andern Art; denn vier Beobachtungsreihen in der höheren, und vier in der niederen Temperatur gaben im

Mittel 25",58 in der Wärme und 25",50 in der Kälte als Dauer von zehn Schwingungen.«

2) »Es ist bekannt, dafs wenn man die Cohäsionsverhältnisse eines Eisendrahts auf die Weise verändert, dafs man ihn um seine Axe windet, eine Polarität in ihm entsteht, die sogar innerhalb gewisser Gränzen mit der Anzahl der Windungen, die man giebt, regelmäfsig zunimmt, so dafs Hr. Gay-Lussac dieses Mittel in Vorschlag gebracht, um gleiche Grade der Magnetisation hervorzubringen, vorausgesetzt, nur das angewendete Eisen sey von ganz gleicher chemischer Constitution. Welchen Antheil hat nun bei dieser Wirkung die Azimuthalbewegung des Windens um die Axe; und würde wohl ein Stab auch polarisirt werden durch einen blofs senkrechten Zug, wobei die Cohäsionsverhältnisse auch verändert werden, aber ohne azimuthale Veränderung in ihrer relativen Stellung?«

»Wir benutzten die Gelegenheit, wo im Zeughause durch die Brama'sche Presse Cylinder von Gufseisen, 1 Fufs lang und 3 Zoll im Durchmesser, zerrissen wurden. Um die Tenacität dieser Cylinder genau messen zu können, wurde der Druck, der sie in ihrer senkrechten Stellung zerreifsen sollte, nur sehr allmälig vermehrt, und man gewann vollkommen Zeit, die Einwirkung des Stabes auf die Schwingungszeiten einer dicht daran gestellten Nadel, während der Stab zum Reifsen sollicitirt wurde, zu beobachten, und zu vergleichen mit der Wirkung, die er eben geäufsert hatte, ehe die Spannung gegeben wurde. Es fand sich nur ein sehr geringer Unterschied, denn die mittlere Dauer von zehn Schwingungen war beim ungespannten Eisen 20",74, und während der allmälig bis zum Zerreifsen zunehmenden Spannung 20",64; eine Zunahme andeutend von nur 0,009 der von der Erde und dem betrachteten Eisen gleichzeitig, oder von nur 0,006 der vom Eisen allein ausgeübten Wirkung, ein Effect, der gegen den der Torsion durchaus als verschwin-

dend erscheint. Doch mufs empfohlen bleiben; diese Prüfung unter günstigeren Umständen zu wiederholen, denn die eben erwähnte hatte zwei wichtige Mängel: einmal die grofse Eisenmasse der hydraulischen Presse, gegen deren totale Wirkung die etwanigen kleinen Incremente des Cylinders verschwinden konnten; und dann hauptsächlich der Umstand, dafs die von der Maschine gefafsten Enden der Cylinder nicht zugänglich waren, so dafs die Schwingungsnadel zu nahe an die Mitte der Cylinder gebracht werden mufste, d. h. zu nahe am Indifferenzpunkt der etwanigen Polarität.«

Noch mag es erlaubt seyn, eine Erfahrung herauszuheben, die der Hr. Verfasser bei Gelegenheit einer Bestimmung des Einflusses der Temperatur auf die Magnetnadeln gemacht hat.

»Nicht ohne Interesse, sagt derselbe, scheint ein anderes auf dieselbe Art gewonnenes Resultat: *dafs Magneteisenstein einen bei weitem geringeren Verlust seiner Kraft durch Temperaturerhöhung erleidet als gestrichene Stahlstäbe;* und aus diesem Grunde vielleicht zu Stäben, die zur Intensitätsbestimmung dienen sollen, vortheilhafter befunden werden möchte als Stahl. Ein rechtwinkliges Prisma aus Magneteisenstein, dessen drei Kanten 36‴,8, 5‴,0 und 10‴,5 messen, zeigte durch seine in verschiedenen Temperaturen beobachtete Wirkung auf die vor ihm schwingende Nadel folgende Grade der Kraft:

bei Temperatur	166,4	0,886	die Kraft bei 0° als Einheit vorausgesetzt.
	182,3	0,880	
	230,6	0,864	
	245,2	0,852	

Der Magnetstein hatte daher 0,85 seiner anfänglichen Kraft behalten bei derselben Temperaturerhöhung, die den Stahlnadeln nur etwa 0,18 der ihrigen gelassen hatte.«

»Einige ähnliche Versuche mit einer Nickelnadel gaben nur schwankende und unsichere Resultate, weil sich jedesmal, nach Beendigung der Reihe, eine bedeutende

Verstärkung des der schwingenden Prüfungsnadel zunächst gewesenen Poles fand; Nickel erschien hier dem weichen Eisen sehr ähnlich durch sein geringes Coërcitivvermögen. Uebrigens war es interessant zu finden, dafs diese geänderte Vertheilung sich bei jedem Versuche mit der Nickelnadel deutlich aussprach durch die unter sich abweichenden Resultate, welche die zwei oben erwähnten Prüfungsmethoden gaben, wenn man sie auf Nickel eben so anwendete, wie es für Stahl geschehen war.

III. *Ueber die doppelte Strahlenbrechung; von A. Fresnel.*

(Schlufs.)

Elasticitätsfläche, welche das Gesetz der Elasticitäten und der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten darstellt.

Angenommen man construire nach der Gleichung

$$v^2 = a^2 \cos^2 X + b^2 \cos^2 Y + c^2 \cos^2 Z$$

eine Fläche, von deren Fahrstrichen ein jeder die Winkel X, Y, Z mit der Axe der x, der y und der z mache, und zur Länge den Werth von v habe; diese Fläche wird man *Elasticitätsfläche* nennen können, weil durch die Quadrate ihrer Fahrstriche die Componenten der Elasticitätskraft in Richtung einer jeden Verschiebung gegeben werden.

Denkt man sich ein System von (wie immer vorausgesetzt: ebenen und unbegränzten) Lichtwellen sich fortpflanzend in einem Mittel, dessen Elasticitätsgesetz durch diese Fläche dargestellt wird, wenn man durch ihren Mittelpunkt, parallel den Wellen, eine Ebene legt, so mufs man die ganze auf dieser Ebene senkrechte Componente als durchaus ohne Einflufs auf die Fortpflan-

zungsgeschwindigkeit der Lichtwellen betrachten. Die Elasticitätskraft, erregt durch Verschiebungen, welche einem der Fahrstriche dieses diametralen Schnitts parallel sind, kann immer in zwei andere Kräfte zerlegt werden, eine parallel und die andere senkrecht gegen den Fahrstrich; die erstere wird, was ihre Gröfse betrifft, durch das Quadrat der Länge eben dieses Fahrstrichs dargestellt; die zweite, welche nur in zwei besonderen Lagen senkrecht steht auf der Ebene des diametralen Schnitts, kann im Allgemeinen in zwei andere Kräfte zerfällt werden, eine in dieser Ebene und eine senkrecht auf derselben; letztere übt, wie gesagt, keinen Einflufs auf die Fortpflanzung der Lichtwellen aus, allein diefs gilt nicht von der ersteren Componente, vielmehr mufs man diese mit der ersten, dem Fahrstrich parallelen Componente verbinden, um die gesammte in der Wellenebene erregte Elasticitätskraft zu erhalten.

Man wird bemerken, dafs für diesen allgemeinen Fall die Elasticitätskraft, welche die Wellen fortpflanzt, nicht parallel ist den Verschiebungen, durch welche sie erregt wurde, woraus denn folgt, dafs die Vibrationen beim Uebergange von einer Schicht zur andern eine allmälige Aenderung in ihrer Richtung erleiden, und eine an Stärke verschiedene Elasticitätskraft in Thätigkeit setzen. Diefs macht die Berechnung der Fortpflanzung der Wellen sehr schwierig, und verhindert hier die Anwendung des gewöhnlichen Gesetzes, dem zufolge die Fortpflanzungsgeschwindigkeit proportional ist der Quadratwurzel aus der in Thätigkeit gesetzten Elasticität, eines Gesetzes, dessen Anwendbarkeit wir nur für den besonderen Fall bewiesen haben, wo die Richtung der Vibrationen und die Gröfse der Elasticität von Schicht zu Schicht constant bleiben.

Es giebt indefs in jeder Ebene immer zwei auf einander rechtwinklige Richtungen von der Art, dafs, wenn man die Elasticitätskräfte, welche von diesen Richtungen

parallelen, Verschiebungen erregt werden, in zwei andere Kräfte zerlegt, eine parallel und die andere senkrecht auf dieser Richtung, die zweite Componente senkrecht steht auf jener Ebene; so dafs die Vibrationen alleinig fortgepflanzt werden durch eine mit den ursprünglichen Verschiebungen parallele Elasticitätskraft, welche demnach in ihrer ganzen Bahn gleiche Richtung und gleiche Intensität behält. Welche Richtung nun auch die einfallenden Vibrationen haben, so kann man sie doch immer nach diesen zwei rechtwinkligen Richtungen in der mit den Wellen parallelen Diametral-Ebene zerlegen, und dadurch das Problem ihres Ganges zurückführen auf die Berechnung der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der diesen beiden Richtungen parallel laufenden Vibrationen. Diese Berechnung läfst sich nach dem alsdann in aller Strenge anwendbaren Satz, dafs die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten den Quadratwurzeln aus der in Thätigkeit gesetzten Elasticität proportional sind, leicht ausführen.

Die den Axen irgend eines diametralen Schnitts in der Elasticitätsfläche parallelen kleinen Verschiebungen streben nicht dahin, die Molecüle der folgenden Schichten aus der auf deren Richtung senkrechten Ebene abzulenken.

Ich werde beweisen, dafs der gröfste und der kleinste Fahrstrich oder die beiden Axen des diametralen Schnitts die eben genannte Eigenschaft besitzen, d. h. dafs die diesen beiden Axen parallelen Verschiebungen Elasticitätskräfte erregen, deren auf der Richtung dieser Fahrstrich senkrechte Componente zugleich senkrecht ist auf der Ebene des diametralen Schnitts.

Es sey $x = By + Cz$ die Gleichung der durch den Mittelpunkt der Elasticitätsfläche gelegten Schnittebene. Die Bedingungsgleichung, welche ausdrückt, dafs diese Ebene

Ebene den Fahrstrich enthalte, dessen Neigungen gegen die Axe der x, der y und der z respective X, Y, Z sind, ist:

$$\cos X = B . \cos Y + C . \cos Z.$$

Man hat überdiefs zwischen den Winkeln X, Y, Z die Beziehung:

$$\cos^2 X + \cos^2 Y + \cos^2 Z = 1,$$

und für die Elasticitätsfläche die Gleichung:

$$\rho^2 = a^2 \cos^2 X + b^2 \cos^2 Y + c^2 \cos^2 Z.$$

Der Fahrstrich ρ erreicht sein Maximum oder Minimum, wenn sein Differential Null wird; man hat also in diesem Fall, wenn man die Gleichung der Fläche in Bezug auf den Winkel X differencirt:

$$0 = a^2 \cos X \sin X + b^2 \cos Y \sin Y \frac{dY}{dX}$$
$$+ \cos Z \sin Z \frac{dZ}{dX}.$$

Differentiirt man auf gleiche Weise die beiden vorhergehenden Gleichungen, so hat man:

$$\cos X \sin X + \cos Y \sin Y \frac{dY}{dX} + \cos Z \sin Z \frac{dZ}{dX} = 0$$

$$- \sin X + B \sin Y \frac{dY}{dX} + C \sin Z \frac{dZ}{dX} = 0,$$

woraus man für $\frac{dY}{dX}$ und $\frac{dZ}{dX}$ die folgenden Werthe zieht:

$$\frac{dY}{dX} = \frac{\sin X(C \cos X + \cos Z)}{\sin Y(B \cos Z - C \cos X}$$

und:

$$\frac{dZ}{dX} = \frac{-\sin X(B \cos X + \cos Y)}{\sin Z(B \cos Z - C \cos Y)}.$$

Substituirt man diese beiden Werthe in der ersten Differential-Gleichung, welche die gemeinschaftliche Bedingung des *Maximums* und des *Minimums* ausdrückt, so findet man für die Gleichung, welche die Richtung der Axen des diametralen Schnitts bestimmt:

$$a^2 \cos X(B \cos Z - C \cos Y) + b^2 \cos Y(C \cos X + \cos Z)$$
$$- c^2 \cos Z(B . \cos X + \cos Y) = 0 \quad . \quad . \quad . \quad (A)$$

Denken wir uns jetzt eine Ebene gelegt durch den Fahrstrich, und die beschleunigende Kraft, welche durch die dem Fahrstrich parallelen Verschiebungen entwickelt wird; es ist diese Ebene, in der wir die erwähnte Kraft in zwei andere zerlegen, eine in Richtung des Fahrstrichs, und die zweite senkreckt darauf. Wenn diese Ebene senkrecht steht auf der schneidenden Ebene, so ist klar, daſs die zweite Componente senkrecht steht auf dieser. Wir werden demnach die Gleichung aufsuchen, welche ausdrückt, daſs diese beiden Ebenen einen rechten Winkel mit einander machen, und, wenn dieselbe mit der Gleichung (A) übereinstimmt, werden wir daraus schlieſsen, daſs die Axen des normalen Schnitts genau die Richtungen sind, welche der Bedingung genügen, daſs die auf den Fahrstrich senkrechte Componente auch senkrecht sey auf der schneidenden Ebene.

Es sey $x = B'y + Cz$ die Gleichung der Ebene, welche durch den Fahrstrich und die Richtung der Elasticitätskraft, erregt durch parallele Vibrationen mit dem Fahrstrich, gelegt ist. Die Cosinus der Winkel, welche diese Kraft mit den drei Coordinataxen macht, sind:

$$\frac{a^2 \cos X}{f}, \quad \frac{b^2 \cos Y}{f}, \quad \frac{c^2 \cos Z}{f},$$

und weil sie in der Ebene $x = B'y + Cz$ liegt, so hat man:

$$\frac{a^2 \cos X}{f} = B' \frac{b^2 \cos Y}{f} + C \frac{c^2 \cos Z}{f},$$

oder:

$$a^2 \cos X = B'b^2 \cos Y + Cc^2 \cos Z.$$

Da diese Ebene den Fahrstrich enthält, so hat man auch:

$$\cos X = B' \cos Y + C \cos Z.$$

Aus diesen beiden Gleichungen zieht man:

$$B' = \frac{(a^2 - c^2)\cos X}{(b^2 - c^2)\cos Y}$$

und:

$$C' = -\frac{(a^2 - b^2)\cos X}{(b^2 - c^2)\cos Z}.$$

Substituirt man diese Werthe von B' und C' in der Gleichung:

$$BB' + CC' + 1 = 0,$$

welche ausdrückt, dafs die zweite Ebene senkrecht auf der ersteren ist, so findet man:

$$B(a^2 - c^2)\cos X \cos Z - C(a^2 - b^2)\cos X \cos Y$$
$$+ (b^2 - c^2)\cos Y \cos Z = 0$$

eine ähnliche Beziehung, wie die Gleichung (A), welche die Richtung der Axen des diametralen Schnitts bestimmt, wie man leicht durch Ausführung der Multiplicationen ersieht. Die Richtungen dieser beiden Axen besitzen also wirklich die angezeigte Eigenschaft, und daraus folgt, dafs die ihnen parallelen Vibrationen, indem sie immer die nämliche Richtung behalten, eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit besitzen, die proportional ist der Quadratwurzel aus der in Thätigkeit gesetzten Elasticität, und daher durch den Fahrstrich v dargestellt werden kann.

Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit ebener und unbegränzter Wellen.

Mit Hülfe dieses Satzes und der Gleichung für die Elasticitätsfläche ist es, sobald man die drei Halbaxen a, b, c kennt, immer leicht die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ebener und unbegränzter Wellen von gegebener Richtung zu bestimmen. Zu dem Ende lege man zuvörderst durch den Mittelpunkt der Elasticitätsfläche eine Ebene parallel den Wellen, und zerlege deren Vibrationsbewegung in zwei andere, gerichtet nach der grofsen und kleinen Axe dieses diametralen Schnitts. Nennt man α den Winkel, welchen die einfallenden Vibrationen mit der ersten dieser Axen bilden, so werden $\cos\alpha$

und *sin α* die relativen Intensitäten der beiden Componenten bezeichnen, und ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeiten, senkrecht gegen die Wellen, werden respective gleich seyn der Hälfte derjenigen Halbaxe des diametralen Schnitts, der die Vibrationen parallel sind. Da diese beiden Halbaxen im Allgemeinen ungleich lang sind, so durchlaufen die beiden Wellensysteme das Mittel mit ungleicher Geschwindigkeit, und wenn die Austrittfläche schief steht gegen die Wellenfläche, so sind sie beim Austritt aus dem brechenden Mittel nicht mehr parallel, so dafs der Geschwindigkeitsunterschied einen Unterschied in der Brechung nach sich zieht. Was die Polarisationsebenen der beiden divergirenden Lichtbündel betrifft, so sind sie senkrecht auf einander, weil ihre Vibrationen rechtwinklig gegen einander geschehen.

Es giebt zwei diametrale Ebenen, deren Durchschnitte mit der Elasticitätsfläche Kreise sind.

Zu bemerken ist, dafs die Fläche:

$$v^2 = a^2 \cos^2 X + b^2 \cos^2 Y^2 + c^2 \cos^2 Z,$$

welche die Elasticitätsgesetze eines jeden Mittels vorstellt, in denen die Elasticitätsaxen der Molecular-Gruppen eine parallele Lage haben, durch zwei, nach ihrer mittleren Axe gelegte, und gegen jede der beiden anderen Axen gleich geneigte Ebenen in zwei Kreisen geschnitten wird.

Setzt man nämlich statt der Polar-Coordinaten rechtwinklige Coordinaten in diese Gleichung, so wird dieselbe:

$$(x^2 + y^2 + z^2)^2 = a^2 x^2 + b^2 y^2 + c^2 z^2;$$

und den in dieser Fläche gemachten Kreisschnitt kann man immer als gleichzeitig der Oberfläche einer Kugel $x^2 + y^2 + z^2 = r^2$ angehörig betrachten; auch mufs der Umfang dieses Schnitts sich zugleich in der schneidenden Ebene $z = Ax + By$, auf der Oberfläche der Ku-

gel und auf der Elasticitätsfläche befinden. Die Combination der Gleichungen dieser beiden Flächen giebt:

$$r^4 = a^2 x^2 + b^2 y^2 + c^2 z^2,$$

und substituirt man in dieser Relation den aus der Gleichung für die schneidende Ebene gezogenen Werth von z, so hat man:

$$x^2 (a^2 + A^2 c^2) + y^2 (b^2 + B^2 c^2)$$
$$+ 2ABc^2 xy = r^4 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Substituirt man jenen Werth von z in der Gleichung für die Kugel, so findet man für die Projection derselben Curve auf dieselbe Ebene der x, y:

$$x^2 (1 + A^2) + y^2 (1 + B^2) + 2ABxy = r^2 \quad . \quad . \quad (2)$$

Da die beiden Gleichungen (1) und (2) identisch seyn müssen, so hat man:

$$\frac{1+B^2}{1+A^2} = \frac{b^2 + B^2 c^2}{a^2 + A^2 c^2};$$

$$\frac{2AB}{1+A^2} = \frac{2ABc^2}{a^2 + A^2 c^2};$$

$$\frac{r^2}{1+A^2} = \frac{r^4}{a^2 + A^2 c^2};$$

Die zweite Bedingung kann nur dadurch erfüllt werden, dafs $A = 0$ oder $B = 0$, weil man sonst $c^2 + A^2 c^2 = a^2 + A^2 c^2$ machen müfste, also $c^2 = a^2$, da man doch über diese constanten Gröfsen nicht verfügen kann. Nimmt man $A = 0$, so zieht man aus der ersten Gleichung die Bedingung $B = \pm \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{c^2 - b^2}}$, eine unmögliche Gröfse, falls b die mittlere Axe ist, weil dann die beiden Glieder des unter dem Wurzelzeichen stehenden Bruchs vom entgegengesetzten Zeichen sind. Setzt man also $a > b$ und $b > c$, so mufs man $B = 0$ machen. Diefs giebt für A den reellen Werth:

$$A = \pm \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{b^2 - c^2}}$$

$B = 0$ zeigt an, dafs die schneidende Ebene durch die

Axe der y oder durch die mittlere Axe der Elasticitätsfläche gehen mufs. Die beiden gleichen, nur im Zeichen entgegengesetzten Werthe, welche man für A, d. h. für die Tangente des Winkels zwischen dieser Ebene und der Axe der x, gefunden hat, zeigen, dafs die Bedingung, die Elasticitätsfläche in einem Kreise zu schneiden, von zwei gegen die Ebene der xy gleich geneigten Ebenen erfüllt wird, und zwar nur von diesen beiden Ebenen. Jeder andere diametrale Schnitt hat demnach zwei ungleiche Axen, so dafs die Wellen, welche einem solchen parallel sind, das nämliche Mittel mit zwei verschiedenen Geschwindigkeiten durchlaufen können, je nachdem ihre Vibrationen nach der einen oder der andern seiner Axen gerichtet sind.

Die Doppelbrechung wird Null für die Wellen, welche den beiden Kreisschnitten der Elasticitätsfläche parallel liegen.

Die den Kreisschnitten parallelen Wellen müssen im Gegentheil immer dieselbe Fortpflanzungsgeschwindigkeit haben, in welche Richtung sie ihre Vibrationen auch vollbringen, weil die Fahrstriche in jedem dieser Schnitte einander gleich sind. Ueberdiefs werden ihre Vibrationen beim Uebergange aus einem Schnitt in den andern keine Ablenkung erleiden, weil die auf jedem dieser Fahrstriche senkrechte Componente zugleich senkrecht ist auf der Ebene des Kreisschnitts; denn, wie wir vorhin gezeigt haben, ist diese Bedingung erfüllt, sobald das Differential des Fahrstrichs Null wird, und diefs eben findet für alle Fahrstriche der Kreisschnitte statt, weil ihre Länge constant ist. Wenn man also einen Krystall parallel einem der Kreisschnitte der Elasticitätsfläche anschleift, und auf die erhaltene Fläche senkrecht Strahlen, die nach irgend einem Azimuthe polarisirt seyn mögen, einfallen läfst, so erleiden dieselben in dem Krystall weder eine Doppelbrechung, noch eine Drehung ihrer Pola-

risationsebene. Diese beiden Richtungen, welche man wegen ihrer Eigenschaften uneigentlich *Axen des Krystalls* genannt hat, werde ich *optische Axen* nennen, um sie von den drei auf einander rechtwinkligen Elasticitäts-Axen zu unterscheiden, welche man, nach meiner Einsicht, als die wirklichen Axen des doppelbrechenden Mittels betrachten muſs.

In brechenden Mitteln, deren Elasticitäts-Axen überall gleiche Richtung haben, giebt es niemals mehr als zwei optische Axen.

Eine merkwürdige Folgerung aus der so eben angestellten Berechnung ist die, daſs ein Körper von der angenommenen Beschaffenheit, d. h. einer, dessen Theilchen eine solche Anordnung besitzen, daſs die Elasticitäts-Axen für jeden Punkt des vibrirenden Mittels in seiner ganzen Ausdehnung parallel sind, nicht mehr als zwei optische Axen haben könne. Diese reduciren sich auf eine einzige, sobald zwei der Halbaxen a, b, c der Elasticitätsfläche einander gleich sind. Wenn z. B. $a=b$, wodurch $A=0$, so fallen die beiden Kreisschnitte mit der Ebene der xy zusammen, und die beiden, auf ihnen senkrechten, optischen Axen mit der Axe der z, oder der Axe c der Elasticitätsfläche, die dann eine Umdrehungsfläche wird. Dieſs ist der Fall bei denjenigen Krystallen, welche man, wie den Kalkspath, *einaxige Krystalle* nennt. Sind alle drei Elasticitäts-Axen einander gleich, so wird die Elasticitätsfläche eine Kugelfläche; dann variiren die Kräfte nicht mehr mit der Richtung der Molecular-Verschiebungen, und das vibrirende Mittel besitzt keine Doppelbrechung; dieſs scheint bei allen in Würfeln krystallisirten Körpern der Fall zu seyn.

Bisher haben wir die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Lichtwellen nur nach senkrechter Richtung gegen ihre Tangential-Ebene berechnet, ohne daſs wir suchten, die Gestalt der Wellen im Innern des Krystalls und die Neigung der Strahlen gegen ihre Oberfläche zu bestimmen.

So lange es sich nur darum handelt, die Erscheinungen der Doppelbrechung für den Fall zu berechnen, dafs die einfallenden Wellen fast eben sind, d. h. von einem hinreichend entfernten Lichtpunkt ausgehen, braucht man nur die relativen Richtungen der Wellenebene innerhalb und aufserhalb des Krystalls zu berechnen, weil man dadurch den Winkel zwischen der ausfahrenden und einfallenden Welle findet, folglich auch die Neigung zwischen den beiden Linien, in welche man nach einander den Gesichtsstrahl oder die Axe des Fernrohrs bringen mufs, um das Sehzeichen erstlich direct und dann durch das Krystall-Prisma zu erblicken. Ich sage hier *Prisma*, weil, wenn man eine Krystallplatte mit parallelen Flächen anwendete, in dem hier betrachteten Fall, wo der Lichtpunkt als unendlich entfernt angenommen ist, die ausfahrende Welle der einfallenden parallel seyn würde, wie auch die Stärke der Doppelbrechung und das Gesetz der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten im Innern des Krystalls beschaffen seyn mag. Es kann daher in diesem Fall nur wenn die Krystallplatte prismatisch ist eine merkliche Auseinanderweichung des gewöhnlichen und ungewöhnlichen Bildes stattfinden, und um den Ablenkungswinkel des gewöhnlichen und den des ungewöhnlichen Lichtbündels, deren Unterschied den Divergenzwinkel der beiden Bilder giebt, zu berechnen, braucht man nur die Fortpflanzungsgeschwindigkeit eines jeden Wellensystems im Innern des Krystalls aus der Richtung der Wellenebene in Bezug auf die Axen zu bestimmen.

Beweis des Refractionsgesetzes für ebene und unbegränzte Wellen.

Es sey z. B. IN (Fig. 7 Taf. V) die Ebene der einfallenden Welle, welche ich, der gröfseren Einfachheit wegen, als parallel annehme der Eintrittsfläche am Krystallprisma ABC, dessen Axen übrigens eine beliebige Richtung haben mögen. Alle Theile dieser Welle gelangen

gleichzeitig auf der Ebene AB an, und ihre Ebene erleidet daher beim Eintritt in den Krystall und beim Durchlaufen desselben keine Ablenkung. Diefs ist aber nicht mehr der Fall beim Austritt aus dem Prisma. Um die Richtung der ausfahrenden Wellenebene zu bestimmen, beschreibe ich von A aus und mit dem Radius AE, der gleich ist dem Wege, den das Licht in der Luft durchlaufen würde, während es von B nach C geht, einen Kreisbogen, und lege an ihn durch C die Tangente CE; diese Tangente giebt, wie leicht erweisbar *), genau die Lage der ausfahrenden Wellenebene.

Wenn man jeden erschütterten Punkt der Fläche AC als einen Erschütterungs-Mittelpunkt betrachtet, so sieht man, dafs alle sphärischen Wellen, die auf diese Weise erzeugt werden, gleichzeitig auf CE anlangen, welche Linie demnach ihre gemeinschaftliche Tangentialebene seyn wird. Ich behaupte nun, diese Ebene ist die Richtung der gesammten Welle, die aus der Vereinigung aller dieser kleinen Elementar-Wellen hervorgeht, wenigstens in einer, in Bezug auf eine Wellenlänge, sehr grofsen Entfernung.

Es sey H irgend ein Punkt dieser Ebene, für den ich die Lage und die Intensität der Resultante aller dieser elementaren Wellensysteme aufsuche. Der erste Strahl, welcher in diesem Punkt anlangt, ist der, welcher in der Richtung GH senkrecht auf CE ging, und die Strahlen gH und $g'H$, welche von andern rechts und links von G liegenden Punkten g und g' ausliefen, stehen in ihrem Gange um eine ganze oder gebrochene Zahl von Undulationen zurück, die desto gröfser ist, je entfernter diese Punkte von G liegen. Theilt man nun CA auf die Weise, dafs die Strahlen, welche von zwei benachbarten Theilpunkten ausfliefsen, immer um eine halbe Undulation in ihrem Gange verschieden sind, so

*) Die Ebene der Figur als senkrecht vorausgesetzt gegen die beiden Flächen des Prisma's.

ist es leicht zu sehen, dafs vermöge der Entfernung von *H*, welche in Bezug auf eine Wellenlänge sehr grofs ist, die kleinen Theile, in welche man *CA* getheilt hat, beinah einander gleich werden für die Strahlen, welche mit *GH* etwas merkliche Winkel bilden. Man kann also annehmen, dafs die Strahlen, welche von zwei an einander gränzenden Stücken der Linie *AC* ausgehen, sobald sie eine merkliche Schiefe gegen *GH* besitzen, sich gegenseitig vernichten oder, strenger genommen, dafs das von einem dieser Stücke ausgehende Licht zerstört wird durch die Hälfte des Lichts vom vorhergehenden und durch die Hälfte des Lichts vom nachfolgenden Stück. Denn die Breite eines solchen Stücks weicht von dem arithmetischen Mittel aus den Breiten der zu beiden Seiten liegenden Stücke nur um eine sehr kleine Gröfse zweiter Ordnung ab; und überdiefs müssen die Strahlen, welche von diesen drei Stücken ausgesandt werden, beinahe gleiche Intensität haben, nach welchem Gesetze ihre Intensität rings um den Erschütterungs-Mittelpunkt auch variiren mag, weil sie (wegen der Entfernung von *H*) unter einander beinah parallel sind, sich also in gleichen Umständen befinden *). Ueberdiefs folgt aus der Natur der ursprünglichen Vibrationsbewegung, von der alle diese Erschütterungs-Mittelpunkte herrühren, und deren Oscillationen sie nothwendig wiederholen müssen, dafs die

*) In Betreff der Intensität dieser Strahlen läfst sich dieselbe Bemerkung machen, wie über die Gröfse der Stücke von *AC*, von denen diese Strahlen ausgesandt werden. Sind nämlich die Strahlen, welche von zwei an einander stofsenden Stücken ausgehen, hinsichtlich der Intensität nur um eine unendlich kleine Gröfse erster Ordnung verschieden, so weicht die Intensität der Strahlen, die von irgend einem Stücke ausfliefsen, nur um ein unendlich Kleines der zweiten Ordnung von dem Mittel aus den Intensitäten der Strahlen der zu beiden Seiten liegenden Stücke ab.

Elementar-Wellen, welche diese Mittelpunkte nach *H* schicken, dahin abwechselnd positive und negative Oscillationsgeschwindigkeiten hinführen, welche ihrer Gröfse nach gleich und nur im Zeichen verschieden sind. Dasselbe gilt von den beschleunigenden Kräften, die aus den relativen Verschiebungen der Molecüle entstanden sind; auch sie werden für die zwei entgegengesetzten Bewegungen der ursprünglichen Welle gleich und vom entgegengesetzten Zeichen seyn. Diese Gleichheit zwischen den positiven und negativen Gröfsen, die in einer vollständigen Oscillation enthalten sind, reicht hin, damit zwei Systeme, die im Gange um eine halbe Undulation verschieden sind, einander zerstören, sobald sie überdiefs nur gleiche Stärke besitzen.

Alle Strahlen, welche merklich gegen *GH* neigen, zerstören also einander, und nur die mit *GH* fast parallelen tragen wirksam zur Bildung des resultirenden Wellensystems bei. Man kann sie demnach in der Rechnung als von gleicher Intensität betrachten, und von $+\infty$ bis $-\infty$ nach zwei Dimensionen integriren, gemäfs den Formeln, welche ich in meiner Abhandlung über die Diffraction gegeben habe. Allein auch ohne Zuhülfeziehung dieser Formeln ist es im Voraus klar, dafs, wenn die einfallende Welle in allen ihren Theilen gleiche Intensität besitzt, die Elemente der Integration gleich seyn werden für die hinreichend entfernt von der Fläche *CA* liegenden Punkte *h'*, *H*, *h* u. s. w. der ausfahrenden Welle, welche Form das Integral auch haben mag, und dafs folglich die Intensität und die Lage der resultirenden Welle gleich sind an allen diesen Punkten. Mithin wird diese der Ebene *CE*, dem geometrischen Ort der ersteren Erschütterungen, parallel seyn; die Integrationsformeln setzen sie gegen diese Ebene eine Viertel-Undulation zurück; allein diefs ändert nichts an ihrer Richtung, dem einzigen Element, durch welches der Gesichts-

strahl oder die Axe des Fernrohrs, mit dem man den Visirpunkt betrachtet, bedingt wird *). Mithin verhalten sich die Sinus der Winkel BAC und CAE, der Winkel der brechenden Fläche mit den einfallenden und gebrochenen Wellen, zu einander wie die Längen CB und AE, d. h. wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Lichts in den beiden an einander gränzenden Mitteln.

Wir sehen also, dafs es, wenn der Sehpunkt in unendlicher Entfernung liegt, die einfallende Welle also eben ist, zur Berechnung der prismatischen Wirkung doppeltbrechender Mittel hinreichend ist, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der ordentlichen und aufserordentlichen Wellen im Innern des Krystalls für jegliche Richtung der Wellenebene zu kennen, diese Geschwindigkeit senkrecht gemessen gegen die letztere Ebene. Diefs aber gerade ergiebt sich durch den gröfsten und kleinsten Fahrstrich des durch die Wellenebene in der Elasticitätsfläche gemachten diametralen Schnitts. Liegt aber der Sehpunkt dem brechenden Mittel sehr nahe, oder wendet man einen Krystall mit sehr starker Doppelbrechung an, z. B. einen Kalkspath, in welchem die Krümmung der Wellen sehr von der einer Kugel abweicht, alsdann ist es nöthig, die Form dieser Wellen zu kennen.

Grundsatz, welcher die Richtung gebrochener Strahlen bestimmt, wenn man, wegen unzulänglicher Entfernung des Sehpunkts, von der Krümmung der Wellen nicht absehen darf.

Um mich leichter verständlich zu machen, werde ich einen einfachen Fall nehmen, den nämlich, dafs der Visirpunkt im Innern des Krystalls oder an dessen innerer Oberfläche liege. Es sey (Fig. 8 Taf. V) M der Licht-

*) Ich habe es für nützlich gehalten, hier im Kurzen die von mir im zweiten Zusatz meiner Abhandlung über die Diffraction gegebene Erklärung zu wiederholen, damit dem Leser das Nachschlagen erspart sey.

punkt und EC die obere Fläche der Platte, zu welcher die Strahlen heraustreten; ferner seyen MA, Ma, Ma' Strahlen, die von dem Lichtpunkt in solcher Richtung ausgegangen sind, dafs sie die Oeffnung bb' des Auges oder das Objectiv des Fernrohrs treffen. Ich nehme an, die Curve bBb' repräsentire den geometrischen Ort der Erschütterungen, die daselbst zuerst anlangen und von der brechenden Fläche EC ausgegangen sind; sie wird, wie wir gesehen, der aus allen Elementar-Erschütterungen resultirenden Welle parallel seyn. Nun ist es die Richtung des auf die Oeffnung der Pupille fallenden Elements der ausfahrenden Welle, von welcher die Lage des Bildes vom leuchtenden Punkt auf der Netzhaut, folglich auch die Richtung des auf dem Wellenelement senkrechten Gesichtsstrahl abhängt, und mithin handelt es sich darum, dieses Element oder dessen Normale zu bestimmen. Diese Normale ist der Radius AB der schnellsten Ankunft auf der Mitte B des Elements, weil dieses Element die vom Punkt A aus beschriebene Kugel tangirt. Es handelt sich also nur darum, unter allen gebrochenen Strahlen MaB, MAB, $Ma'B$ denjenigen aufzusuchen, welcher die Erschütterung zuerst nach B bringt; seine Richtung aufserhalb des Krystalls ist diejenige, in welcher man den Visirpunkt sieht.

Allein der in der Elasticitätsfläche gemachte Schnitt liefert nicht unmittelbar die erforderlichen Gröfsen, um die Zeiträume zu bestimmen, welche zwischen der Ankunft der von M ausgegangenen Erschütterung in den Punkten a, A, a' verflossen sind; denn jener Schnitt giebt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit nur dann, wenn man die Richtung der schneidenden Ebene oder des dieser Ebene parallel liegenden Wellenelements kennt, und überdiefs ist zu bemerken, dafs in diser Construction die Fortpflanzungsgeschwindigkeit immer als senkrecht gegen die Wellen gezählt angenommen ist, während m[illegible] hier in Richtung des Strahles haben mufs; denn, w[illegible]

Google

reits oben gesagt, kommt die Aufgabe darauf zurück, den zuerst anlangenden Strahl zu bestimmen. Man mufs also zuvörderst die Geschwindigkeiten, mit den sich die Welle, deren Mittelpunkt in M liegt, nach den Radien Ma, MA, Ma' fortpflanzt, d. h. die Länge, welche diese Radien, vom Mittelpunkt M an bis zur Wellenfläche, nach Verlauf einer gewissen Zeit haben, oder mit andern Worten, die Gleichung für die Wellenfläche berechnen.

Lehrsatz, auf welchem die Berechnung der Wellenfläche beruht.

Es sey C (Fig. 9 Taf. V) ein Erschütterungs-Mittelpunkt, $ARBD$ die Lage der von C ausgehenden Welle nach Verlauf der Zeiteinheit, die ich etwas grofs annehme, damit der Abstand der Welle vom Punkt C viele Undulationen enthalte, oder, mit anderen Worten, damit die Undulationslänge in Bezug auf diesen Abstand zu vernachlässigen sey. Ferner denke man sich, dafs eine ebene und unbegränzte Welle ON durch denselben Punkt C gehe; dann sage ich, dafs dieselbe nach Verlauf der Zeiteinheit parallel mit sich selbst in die Lage on, Tangente der Curve $ARBD$, übergegangen seyn wird.

Es sey nämlich R der Berührungspunkt. Suchen wir die Resultante aller der von verschiedenen Punkten von ON ausgegangenen Elementar-Wellensysteme, welche in R anlangen. Aus den vorhin entwickelten Gründen ersieht man, dafs nur Strahlen wie cR, $c'R$, die gegen CR wenig neigen, auf eine wirksame Weise zur Zusammensetzung der Oscillationsbewegung in R beitragen. Es seyen c und c' zwei Erschütterungsmittelpunkte, von denen diese gegen CR wenig geneigten Strahlen herstammen. Nach Verlauf der Zeiteinheit werden sie die beiden Wellen $arbd$ und $a'r'b'd'$ ausgesandt haben, die der Welle $ARBD$ durchaus ähnlich sind, und in den Punkten r und r' ebenfalls die Ebene on berühren; sie

langen also in *R* etwas später an, als die von *C* ausgesandte Welle. *CR* ist also der Weg, auf dem in *R* die Erschütterung zuerst anlangt. Zu bemerken ist, dafs, auf eine so kleine Strecke wie wir betrachten, diefs- und jenseits des Minimums Alles symmetrisch ist, und dafs mithin die Oscillationsbewegungen, welche durch die entsprechenden Strahlen *cR* und *c'R* herbeigeführt werden und schwach gegen die Ebene *on* geneigt sind, gemeinschaftlich zusammengesetzte Bewegungen bilden, die, wie die von *C* herkommende Oscillationsbewegung, dieser Ebene vollkommen parallel sind. Dasselbe gilt von je zwei andern entsprechenden Punkten, die aufserhalb der Ebene der Figur liegen. Mithin wird die Oscillationsbewegung schon die Richtung haben, welche sie in der Welle *on* besitzen mufs. Was die Lage der resultirenden Welle betrifft, so findet man, wenn man parallel und senkrecht gegen die Ebene der Figur integrirt, dafs sie um eine Viertel-Undulation hinter dem Punkte *R* befindlich ist. Allein bei einer Rechnung, bei der wir die Wellenlänge als zu vernachlässigen gegen die Entfernung *CR* angesehen haben, können wir sagen, dafs die Welle *ON* wirklich nach Verlauf der Zeiteinheit in *R* angelangt ist. Durch Anwendung einer ähnlichen Schlufsfolge auf die übrigen Punkte von *on* findet man eben so, dafs die Erschütterungen entstehend von allen denen, die von *ON* ausgehen, hier gleichfalls nach Verlauf der Zeiteinheit anlangen, und dafs folglich die gesammte Welle in diesem Zeitpunkt nach *on* übertragen worden ist.

Auf gleiche Weise läfst sich beweisen, dafs jede andere ebene, und durch den Mittelpunkt *C* gehende Welle *PQ* nach Verlauf der Zeiteinheit in der parallelen Lage *pq*, der Tangente derselben krummen Fläche *ARBD*, angelangt seyn wird. Diese Fläche mufs daher gleichzeitig alle Ebenen berühren, welche nach Verlauf der Zeiteinheit von allen unbegränzten ebenen, von *C* aus-

gegangenen Wellen eingenommen werden. Da uns nun die relativen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten dieser Wellen, gemessen in senkrechter Richtung auf deren Ebenen, bekannt sind, so können wir also ihre Lagen nach Ablauf der Zeiteinheit bestimmen, und daraus die Gleichung der Oberfläche der vom Punkt C ausgegangenen Welle ableiten. Hiedurch kommt die Aufgabe auf die Berechnung einer einhüllenden Fläche zurück.

Berechnung der Wellenfläche in doppeltbrechenden Mitteln.

Da die Gleichung für die durch den Mittelpunkt der Elasticitätsfläche gehende Ebene $z=mx+ny$ ist, so wird man für die parallele Ebene, welche die Wellenfläche berühren mufs, die Gleichung haben; $z=mx+ny+C$, wo C auf die Weise zu bestimmen ist, dafs die Entfernung dieser Ebene vom Anfangspunkt der Coordinaten gleich sey dem gröfsten oder dem kleinsten der in der diametralen Ebene $z=mx+ny$ befindlichen Fahrstriche der Elasticitätsfläche.

Die Gleichung der Elasticitätsfläche, bezogen auf drei rechtwinklige Elasticitätsaxen, ist:

$$v^2=a^2\cos^2 X+b^2\cos^2 Y+c^2\cos^2 Z.$$

Es seyen $x=\alpha z$ und $y=\beta z$ die Gleichungen einer durch deren Mittelpunkt gehenden Geraden, d. h. eines Fahrstrichs; dann hat man zwischen α, β und X, Y, Z folgende Beziehungen:

$$\cos^2 X=\frac{\alpha^2}{1+\alpha^2+\beta^2}$$

$$\cos^2 Y=\frac{\beta^2}{1+\alpha^2+\beta^2}$$

$$\cos^2 Z=\frac{1}{1+\alpha^2+\beta^2}.$$

Substituirt man diese Werthe von $\cos^2 X$, $\cos^2 Y$, $\cos^2 Z$ in obiger Gleichung, so kommt:

$$v^2(1+\alpha^2+\beta^2)=a^2\alpha^2+b^2\beta^2+c^2.$$

Auch

Auch diefs ist noch die Polargleichung der Elasticitätsfläche, in welcher aber die Winkel X, Y, Z, welche der Fahrstrich mit den Axen bildet, ersetzt sind durch die Tangenten α und β der beiden Winkel, welche dessen Projectionen auf die Coordinat-Ebenen der xy und yz mit der Axe der z machen.

Wenn der Fahrstrich ϱ sein Maximum oder Minimum erreicht, ist $d\varrho=0$; mithin hat man, wenn man die letztere Polargleichung der Elasticitätsfläche differenziirt, für die Bedingungsgleichung:

$$\varrho^2\left(\alpha+\beta\frac{d\beta}{d\alpha}\right)=a^2\alpha+b^2\beta\frac{d\beta}{d\alpha}$$

Da der Fahrstrich, dessen Gleichungen sind: $x=\alpha z$ und $y=\beta z$, in der schneidenden Ebene $z=mx+ny$ liegen mufs, so hat man nothwendig:

$$1=m\alpha+n\beta,$$

eine Gleichung, welche durch Differentiation giebt:

$$0=md\alpha+nd\beta,$$

woraus:

$$\frac{d\beta}{d\alpha}=\frac{-m}{n}.$$

Diesen Werth in der obigen Differentialgleichung substituirt, giebt:

$$\varrho^2(\alpha n-\beta m)=a^2\alpha n-b^2\beta m.$$

Combinirt man diese Beziehung mit der Gleichung $1=m\alpha+n\beta$, so ergeben sich für α und β die Werthe:

$$\alpha=\frac{(b^2-\varrho^2)m}{(a^2-\varrho^2)n^2+(b^2-\varrho^2)m^2}$$

$$\beta=\frac{(a^2-\varrho^2)n}{(a^2-\varrho^2)n^2+(b^2-\varrho^2)m^2}.$$

Beiläufig bemerkt, da diese Beziehungen vom ersten Grade sind, können α und β nicht mehr Werthe als ϱ^2 haben. Setzt man diese Werthe an die Stelle von α und β in die Gleichung der Elasticitätsfläche, so findet man:

$$(a^2-v^2)(c^2-v^2)n^2+(b^2-v^2)(c^2-v^2)m^2 \\ +(a^2-v^2)(b^2-v^2)=0 \quad . \ . \ . \ . \ (A)$$

Da diese Gleichung in Bezug auf v^2 nur vom zweiten Grade ist, so kann sie nicht mehr als zwei Werthe von dieser Gröfse geben; mithin giebt es blofs zwei indifferente Elasticitäten und zwei Richtungen, in denen der Fahrstrich die Bedingung des Maximums oder des Minimums erfüllt.

Ohne die doppelten Werthe von α und β zu berechnen, ist leicht einzusehen, dafs diese beiden Richtungen immer rechtwinklig auf einander seyn müssen; denn aus dem allgemeinen Theorem über die drei rechtwinkligen Elasticitätsaxen folgt, dafs wenn man blofs die in einer Ebene ausgeführten Verschiebungen und die in derselben Ebene liegenden Componenten betrachtet, und von den auf dieser Ebene senkrechten Kräften absieht, sie immer zwei auf einander rechtwinklige Richtungen enthält, in welchen die Resultante der in dieser Ebene liegenden Componenten zusammenfällt mit der Linie der Verschiebung. Diese Verschiebungen aber sind es gerade, welche wir so eben gesucht haben, weil, wie wir bewiesen haben, eine jede kleine Verschiebung, parallel dem gröfsten oder kleinsten Fahrstrich in irgend einem diametralen Schnitt, eine in der Ebene dieses Schnitts und dem genannten Fahrstrich parallel liegende Kraft erzeugt, während die zweite Componente immer senkrecht auf dieser Ebene steht.

Mittel von der vorausgesetzten Beschaffenheit können nicht mehr als zwei Bilder von *einem* Gegenstande zeigen.

Die beiden Vibrationsarten, welche sich ohne Veränderung ihrer Oscillationsrichtung und ihrer Geschwindigkeit fortpflanzen, geschehen also nach rechtwinkligen Richtungen, d. h. auf die unabhängigste Weise; und da es überdiefs von v^2 oder der durch sie entwickelten Ela-

sticität nur zwei Werthe giebt, so kann es hier nur zwei mit der Ebene der einfallenden Welle parallele Wellensysteme geben, welch eine Richtung die Vibrationsbewegung auch ursprünglich haben mag, weil diese immer nach jenen zwei Richtungen zerlegt werden kann. Schneidet man demnach einen Krystall von der für das schwingende Mittel hier angenommenen Beschaffenheit, d. h. von solcher, dafs die Elasticitäts-Axen in ihrer ganzen Ausdehnung parallel sind, zu einem Prisma, so wird man durch ihn niemals mehr als zwei Bilder von einem sehr entfernten Gegenstand erblicken, und dasselbe ist auch der Fall, wenn dieser Gegenstand dem Krystall so nahe liegt, dafs man die Krümmung der Welle in Rechnung ziehen mufs.

Aus dem Satz vom Wege der schnellsten Ankunft und aus der Construction, die Huyghens daraus abgeleitet hat, um die Richtung des gebrochenen Strahls zu bestimmen, folgt nämlich, dafs die Zahl der Bilder gleich ist der Zahl der Berührungspunkte der Tangential-Ebenen, welche man, an einer und derselben Seite, durch eine Gerade legen kann an die Oberflächen der verschiedenen Wellen, in welche das Licht sich beim Durchgange durch den Krystall zertheilt. Nun ist klar, dafs man durch eine und dieselbe Gerade und an einer und derselben Seite des gemeinschaftlichen Mittelpunkts dieser Wellen, nicht mehr als zwei Tangential-Ebenen an sie legen kann; denn, könnte man drei solcher Ebenen legen, so würde es auch möglich seyn, drei parallele Tangential-Ebenen an derselben Seite des Mittelpunkts an die Wellen zu legen, woraus sich drei verschiedene Abstände dieser Tangential-Ebenen vom Mittelpunkt ergeben würden, folglich auch drei verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeiten für die, einer und derselben Ebene parallelen, unbegränzten und ebenen Wellen, und wir haben so eben gezeigt, dafs es deren nicht mehr als zwei geben kann. Aus demselben Grunde kann es nicht mehr

als zwei Berührungspunkte geben; denn wenn drei Berührungspunkte vorhanden wären, würden auch drei parallele Tangential-Ebenen möglich seyn.

Fortsetzung der Berechnung der Wellenfläche.

Berechnet man indeſs die Gleichung für die Wellenfläche, so zeigt uns der Grad dieser Gleichung noch deutlicher, daſs es unmöglich ist, an diese Fläche und an derselben Seite des Mittelpunkts durch eine Gerade mehr als zwei Tangential-Ebenen zu legen.

Die Gleichung einer durch den Mittelpunkt der Elasticitätsfläche gehenden Ebene ist:

$$z = mx + ny.$$

Ferner ist die Gleichung für den gröſsten und kleinsten der in diesem diametralen Schnitt liegenden Fahrstriche, wie wir gesehen:

$$(a^2 - v^2)(c^2 - v^2)n^2 + (b^2 - v^2)(c^2 - v^2)m^2 + (a^2 - v^2)(b^2 - v^2) = 0 \quad . \; . \; . \quad (A)$$

Für die Gleichung einer jenem Schnitt parallelen Ebene haben wir schon gesetzt:

$$z = mx + ny + C.$$

Das Quadrat des Abstandes dieser Ebene vom Anfangspunkt der Coordinaten wird vorgestellt durch:

$$\frac{C^2}{1 + m^2 + n^2}$$

Will man also ausdrücken, daſs die dem diametralen Schnitt parallele Ebene von diesem Schnitt um eine dem gröſsten oder kleinsten Fahrstrich gleiche Gröſse absteht, so braucht man nur zu schreiben:

$$\frac{C^2}{1 + m^2 + n^2} = v^2$$

oder:

$$C^2 = v^2(1 + m^2 + n^2).$$

Die Gleichung dieser Ebene, welche die Lichtwelle tangiren muſs, wird demnach:

$$(z - mx - ny)^2 = v^2(1 + m^2 + n^2) \quad . \; . \; . \; . \quad (B)$$

und die Gleichung (A) giebt v^2 in Function von m und n.

Läfst man successiv m und n um eine sehr kleine Gröfse variiren, so erhält man zwei neue, der ersteren sehr nahe liegende Tangential-Ebenen, und die gemeinschaftliche Intersection dieser drei Ebenen gehört zur Wellenfläche. Man mufs also zuvörderst die Gleichungen (A) und (B) in Bezug auf m differenziiren, und n dabei als constant ansehen; diefs giebt:

$$(z-mx-ny)\,x+v^2 m+(1+m^2+n^2)\frac{v\,dv}{dm}=0 \quad (B')$$

$$\frac{v\,dv}{dm}[(1+n^2)(a^2-v^2)+(1+m^2)(b^2-v^2)$$
$$+(m^2+n^2)(c^2-v^2)]-(b^2-v^2)(c^2-v^2)m=0 \quad (A')$$

Differenziirt man hierauf in Bezug auf n, ohne m zu variiren, so findet man:

$$(z-mx-ny)y+v^2 n+(1+m^2+n^2)\frac{v\,dv}{dn}=0 \quad (B_{,})$$

$$\frac{v\,dv}{dn}[(1+n^2)(a^2-v^2)+(1+m^2)(b^2-v^2)$$
$$+(m^2+n^2)(c^2-v^2)]-(a^2-v^2)(c^2-v^2)n=0 \quad (A_{,})$$

Eliminirt man nun $\frac{v\,dv}{dm}$ zwischen den beiden Gleichungen (A') und (B'), so wie $\frac{v\,dv}{dn}$ zwischen den Gleichungen ($A_{,}$ und $B_{,}$), so erhält man zwei neue Gleichungen, welche, aufser den rechtwinkligen Coordinaten x, y, z, nur die drei variablen Gröfsen v, m und n einschliefsen. Verknüpft man sie mit den Gleichungen (A) und (B), so bekommt man vier Gleichungen, zwischen denen man v, m und n eliminiren kann. Die durch diese Elimination erhaltene Relation zwischen den Coordinaten x, y, z wird die allgemeine Gleichung der Wellen seyn, und gleichzeitig der Fläche der ordentlichen und der Fläche der aufserordentlichen Welle angehören.

Dieser directe Gang scheint, wegen der vielen zu eliminirenden Gröfsen und wegen des Grades der Gleichungen, eine verdriefsliche Länge in den Berechnungen herbeizuführen. Zwar kann man v^2 zwischen den Gleichungen (A) und (B) eliminiren, bevor man sie differenziirt, was eine Gleichung vom vierten Grad zwischen m und n giebt. Zu einer einfacheren Gleichung, die nur vom dritten Grade ist, gelangt man auf einem anderen Wege. Eine Gleichung vom ersten Grade in v^2 erhält man leicht, wenn man die schneidende Ebene und demgemäfs die ihr parallele Tangential-Ebene so variirt, dafs dv Null wird; die gemeinschaftliche Durchschnittslinie zweier successiven Lagen der Tangential-Ebenen ist alsdann die Tangente, welche durch den Fufspunkt des vom Anfangspunkt der Coordinaten auf die Tangential-Ebene gefällten Perpendikels geht, und diese durch den Berührungspunkt gehende Tangente kann zur Bestimmung dieses Punkts eben so gut dienen, als die Tangential-Ebene, und zwar durch dieselbe Art der Differentiation und Elimination.

Differentiirt man die Gleichung (A) unter der Annahme, dafs v constant sey, so ergiebt sich:

$$\frac{dn}{dm} = -\frac{m(b^2-v^2)}{n(a^2-v^2)}.$$

Differentiirt man auf gleiche Weise die Gleichung (B) der Tangential-Ebene, so erhält man:

$$\frac{dn}{dm} = -\frac{v^2 m + x(z-mx-ny)}{v^2 n + y(z-mx-ny)}.$$

Diese Werthe einander gleichgesetzt, geben die Beziehung:

$$[v^2 n + y(z-mx-ny)](b^2-v^2)m$$
$$= [v^2 m + x(z-mx-ny)](a^2-v^2)n,$$

welche, da die beiden mit v^4 behafteten Glieder einander aufheben, wird:

$$mn(a^2-b^2)v^2+(z-mx-ny)(my-nx)v^2$$
$$+(z-mx-ny)(nax^2-mby^2)=0,$$

oder, wenn man statt v^2 seinen Werth $\dfrac{(z-mx-ny)^2}{1+m^2+n^2}$ setzt, und den gemeinschaftlichen Factor $z-mx-ny$ fortschafft:

$$(z-mx-ny)^2(my-nx)+mn(a^2-b^2)(z-mx-ny)$$
$$+(na^2x-mb^2y)(1+m^2+n^2)=0 \quad . \quad . \quad . \quad (C)$$

Um nun die Wellenfläche zu erhalten, braucht man nur diese Gleichung successiv in Bezug auf m und n zu differentiiren, und darauf mittelst dieser neuen Gleichungen m und n zu eliminiren.

Nachdem ich die Gleichung für die Wellenfläche durch eine weit kürzere Rechnung aufgefunden hatte, brauchte ich nur zu sehen, ob sie der Gleichung (C) genügte, in welcher m und n die Differentialcoëfficienten $\dfrac{dz}{dx}$ und $\dfrac{dz}{dy}$ der gesuchten Fläche vorstellen. Ich bin diesem synthetischen Wege gefolgt, weil er mir einfacher als die Elimination erschien; allein dennoch sind die Rechnungen, zu denen er führt, so lang und beschwerlich, dafs ich es nicht für zweckmäfsig erachte, sie hier hinzusetzen. Ich begnüge mich mit der Anzeige, dafs der durch die Gleichung (C) ausgedrückten Bedingung von der folgenden Gleichung genügt wird:

$$(x^2+y^2+z^2)(a^2x^2+b^2y^2+c^2z^2)-a^2(b^2+c^2)x^2$$
$$-b^2(a^2+c^2)y^2-c^2(a^2+b^2)z^2+a^2b^2c^2=0 \qquad (D)$$

Zu dieser Gleichung bin ich gelangt, indem ich zuvörderst die Durchschnittslinien der Wellenfläche mit jeder der Coordinat-Ebenen bestimmte, Linien, welche die Vereinigung eines Kreises und einer Ellipse darstellen. Ich bemerkte darauf, dafs man eine Fläche von gleichem Charakter erhält, wenn man das Ellipsoïd von einer Reihe diametraler Ebenen durchschneiden läfst, und durch dessen Mittelpunkt, senkrecht auf jeder dieser Ebe-

nen, Fahrstriche errichtet, halb so lang als jede der Axen des diametralen Schnitts; denn die Fläche, welche durch die Endpunkte aller der auf diese Weise bestimmten Fahrpunkte geht, giebt ebenfalls in ihrem Durchschnitt mit den drei Coordinat-Ebenen die Vereinigung eines Kreises und einer Ellipse. Sie ist überdiefs nur vom vierten Grad, und die Identität der Schnitte, welche in diesen beiden Flächen von dem conjugirten drei diametralen Ebenen gemacht werden, würde mir genügt haben, sie für identisch zu erklären, wenn ich hätte beweisen können, dafs die Gleichung für die Wellenfläche nicht den vierten Grad überstiege, wie es aus den Bedingungen zu ihrer Erzeugung schon hervorzugehen schien, da es für v^2, das Quadrat der Entfernung des Anfangspunktes von der Tangential-Ebene, nur zwei Werthe giebt, so dafs die Fläche nur zwei reelle Stücke (*nappes*) haben kann. Da es indefs nicht unmöglich wäre, dafs die gesuchte Gleichung aufserdem noch unmögliche Stücke (*nappes*) enthielte, so mufste ich mich direct versichern, wie ich auch gethan, dafs die Gleichung vom vierten Grade, zu welcher mich das Ellipsoïd geführt hatte, der Gleichung (C), welche die Erzeugung der Wellenfläche ausdrückt, Genüge leiste.

Sehr einfache Rechnung, welche von der Gleichung eines Ellipsoïds zu der der Wellenfläche führt.

Die Rechnung, durch welche ich zu der Gleichung (D) gelangte, ist so einfach, dafs ich glaube, sie hieher setzen zu müssen.

Ich nehme ein Ellipsoïd mit gleichen Axen wie die Elasticitätsfläche; seine Gleichung ist:

$$b^2 c^2 x^2 + a^2 c^2 y^2 + a^2 b^2 z^2 = a^2 b^2 c^2.$$

Die Gleichung der schneidenden Ebene sey: $z = px + qy$. Die Quadrate der beiden Axen des Schnitts sind durch folgende Beziehung gegeben:

$$a^2(b^2-r^2)(c^2-r^2)p^2+b^2(a^2-r^2)(c^2-r^2)q^2 \\ +c^2(a^2-r^2)(b^2-r^2)=0$$

worin r den gröſsten und kleinsten Fahrstrich dieses elliptischen Schnittes vorstellt.

Die Gleichungen einer Geraden, die durch den Mittelpunkt des Ellipsoïds, senkrecht auf der schneidenden Ebene, gelegt wird, sind:

$$x=-px;\quad y=-qz,$$

woraus:

$$p=\frac{-x}{z}\quad;\quad q=\frac{-y}{z}.$$

Substituirt man diese Werthe in obiger Gleichung, so kommt:

$$a^2x^2(b^2-r^2)(c^2-r^2)+b^2y^2(a^2-r^2)(c^2-r^2) \\ +c^2z^2(a^2-r^2)(b^2-r^2)=0,$$

oder, wenn man die angedeuteten Multiplicationen ausführt:

$$(a^2x^2+b^2y^2+c^2z^2)r^4-[a^2(b^2+c^2)x^2 \\ +b^2(a^2+c^2)y^2+c^2(a^2+b^2)z^2]r^2 \\ +a^2b^2c^2(x^2+y^2+z^2)=0.$$

Erwägt man, daſs $r^2=x^2+y^2+z^2$, und schafft den gemeinschaftlichen Factor $x^2+y^2+z^2$ fort, so gelangt man endlich zu der Gleichung (D):

$$(x^2+y^2+z^2)(a^2x^2+b^2y^2+c^2z^2)-a^2(b^2+c^2)x^2 \\ -b^2(a^2+c^2)y^2-c^2(a^2+b^2)z^2+a^2b^2c^2=0.$$

Will man die Wellenfläche auf Polar-Coordinaten beziehen, so muſs man r^2 statt $x^2+y^2+z^2$, und für x^2, y^2, z^2 ihre Werthe: $r^2\cos^2 X$, $r^2\cos^2 Y$, $r^2\cos^2 Z$ setzen, was die folgende Gleichung giebt:

$$(a^2\cos^2 X+b^2\cos^2 Y+c^2\cos^2 Z)r^4-[a^2(b^2+c^2)\cos^2 X \\ +b^2(a^2+c^2)\cos^2 Y+c^2(a^2+b^2)\cos^2 Z]r^2+a^2b^2c^2=0,$$

mit Hülfe derer man die Länge des Fahrstrichs der Welle, d. h. die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Richtung des Lichtstrahls, berechnen kann, sobald man die Winkel kennt, welcher letzterer mit den Elasticitätsaxen des Krystalles macht.

Es ist leicht, sich zu überzeugen, daſs die Durchschnitte der durch die Gleichung (D) vorgestellte Flächen mit den Coordinat-Ebenen aus einem Kreise und einer Ellipse bestehen; denn, wenn man z. B. $z=0$ setzt, findet man:

$$(a^2x^2+b^2y^2)(x^2+y^2)-a^2(b^2+c^2)x^2 \\ -b^2(a^2+c^2)y^2+a^2b^2c^2=0,$$

oder:

$$(a^2x^2+b^2y^2-a^2b^2)(x^2+y^2-c^2)=0;$$

eine Gleichung, bestehend aus der Gleichung eines Kreises mit dem Radius c, und aus der einer Ellipse, deren Halb-Axen a und b sind.

Die Gleichung der Wellenfläche läſst sich nur dann in zwei rationale Factoren des zweiten Grades zerfällen, wenn zwei der Elasticitäts-Axen gleich sind.

Die allgemeine Gleichung der Wellenfläche ist nicht wie die jener Intersectionen immer zerlegbar in zwei rationale Factoren des zweiten Grades, wovon ich mich durch die Methode des unbestimmten Coëfficienten überzeugt habe; vielmehr läſst sich diese Zerlegung nur in dem Fall bewirken, daſs zwei der Axen gleich sind. Setzt man z. B. $b=c$, so wird die Gleichung (D):

$$[a^2x^2+b^2(y^2+z^2)](x^2+y^2+z^2)-2a^2b^2x^2 \\ -b^2(a^2+b^2)(y^2+z^2)+a^2b^4=0,$$

oder:

$$(x^2+y^2+z^2)[a^2x^2+b^2(y^2+z^2)-a^2b^2] \\ -b^2[a^2x^2+b^2(y^2+z^2)+a^2b^2]=0,$$

oder endlich:

$$(x^2+y^2+z^2-b^2)[a^2x^2+b^2(y^2+z^2)-a^2b^2]=0$$

welche Gleichung das Product der Gleichung einer Kugel in die eines Umdrehungs-Ellipsoïds ist.

Die Huyghens'sche Construction, durch welche der Weg der schnellsten Ankunft oder die Richtung des gebrochenen Strahls bestimmt wird, ist so gut auf zweiaxige Krystalle, wie auf den Kalkspath, und überhaupt auf alle Wellen von jeglicher Gestalt anwendbar.

Es sind diese beiden Flächen (Kugelfläche und Ellipsoïdfläche), an welche man, nach der von Huyghens für den Kalkspath gegebenen Construction, successiv eine Tangential-Ebene legt. In dem allgemeinen Fall von zweiaxigen Krystallen, d. h. dem der Ungleichheit der drei Elasticitäts-Axen, mufs man an jedes der beiden Stücke (*nappes*) der durch die Gleichung (D) vorgestellten Wellenfläche eine Tangential-Ebene legen, und wenn man dann von den Berührungspunkten Linien zum Mittelpunkt der Fläche zieht, hat man die Richtung der beiden Wege der schnellsten Ankunft, mithin die Richtung des ordentlichen und aufserordentlichen Strahls. Ich bediene mich hier des herkömmlichen Ausdrucks: *ordentlicher Strahl* wiewohl in Wirklichkeit in diesem allgemeinen Fall keiner der beiden Lichtbündel, wie auch aus der Gleichung hervorgeht, den Gesetzen der *ordentlichen* Brechung folgt.

Die Lage der Geraden, durch welche man die Tangential-Ebene legen mufs, wird hier auf dieselbe Weise wie bei der Construction von Huyghens bestimmt. Man nimmt nämlich auf einer Linie $R'T$ (Fig. 10 Taf. V), die der Richtung der einfallenden Strahlen parallel liegt, eine Gröfse BT gleich der Strecke, welche das Licht aufserhalb des Krystalls in der Zeiteinheit durchlaufen hat; darauf legt man durch den Punkt B senkrecht gegen jene Strahlen die Ebene AB, welche, in der Voraussetzung, dafs AB gegen die Entfernung des leuchtenden Punkts sehr klein sey, ein Element der einfallenden Welle zu Anfange der Zeiteinheit vorstellt. Legt man nun durch den Punkt T parallel der Intersection dieser Ebene mit der Krystallfläche eine Gerade, so wird

diese in T (*) projicirte Linie, die Intersection der Fläche mit dem Element nach Ablauf der Zeiteinheit seyn. Es ist also diese Gerade, durch welche man eine Tangential-Ebene legen mufs an die Wellen, welche sich nach Ablauf derselben Zeiteinheit im Krystall gebildet, und ihre Mittelpunkte auf der ersten Intersection A liegen haben. Die Berührungspunkte M und N mit den beiden Stücken der Fläche dieser Wellen bestimmen die Richtungen AN und AM der beiden gebrochenen Strahlen, die im Allgemeinen nicht mit der Ebene der Figur zusammenfallen. Dieselbe Construction ist anwendbar auf Wellen jeglicher Gestalt, und der allgemeine Satz vom Wege der schnellsten Ankunft führt alle die Aufgaben über die Bestimmung der gebrochenen Strahlen auf die Berechnung der Fläche zurück, welche die Welle in dem brechenden Mittel annimmt.

Bestimmung der Elasticitäts-Axen und der drei Constanten a, b, c der Gleichung der Welle.

Für den Fall, der den Gegenstand dieser Abhandlung ausmacht, wird die Wellenfläche durch die Gleichung (D) vorgestellt. Die Richtungen der Elasticitäts-Axen sind durch die Beobachtung gegeben, und besitzen wahrscheinlich in jedem Krystall eine sehr einfache Beziehung zu den krystallographischen Linien und Spaltungsebenen **). Zwei dieser Axen halbiren den schar-

*) Die Ebene der Figur ist als senkrecht auf der Intersection der Ebene AB mit der Krystallfläche AT vorausgesetzt.

**) Es schien, als müfsten die Elasticitäts-Axen immer symmetrische Richtungen gegen die entsprechenden Krystallflächen einnehmen, d. h. eben sowohl für die Gestalt Axen der Symmetrie seyn, wie sie es für die Elasticität sind; indefs hat Hr. Mitscherlich mehrere Krystalle beobachtet, in denen die Linie, welche den Winkel zwischen den beiden optischen Axen halbirt, nicht symmetrisch liegt gegen die entsprechenden Krystallflächen.

fen und den stumpfen Winkel zwischen den beiden optischen Axen, deren Richtung unmittelbar durch Beobachtung bestimmt werden kann, und die dritte Elasticitäts-Axe steht senkrecht auf der Ebene der beiden optischen Axen. Die Richtung der Elasticitäts-Axen läfst sich auch finden, wenn man die der Polarisationsebenen des ausfahrenden Lichts beobachtet mittelst der sehr einfachen Regel, welche Hr. Biot für diese Ebenen aus seinen Versuchen abgeleitet hat, und welche sich, wie wir bald zeigen werden, als eine Folgerung aus unserer Theorie ergiebt *).

Was die Constanten a, b, c oder die drei Halbaxen der Elasticitätsfläche betrifft, so repräsentiren sie, der Hypothese nach, die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der den Axen der x, der y und der z parallelen Vibrationen, d. h. die Wege, welche sie in der Zeiteinheit durchlaufen. Man kann diese Geschwindigkeiten auf mehrere Weisen bestimmen. Die directeste besteht darin, dafs man successiv die Geschwindigkeiten der parallel einer jeden Elasticitäts-Axe gebrochenen Strahlen, deren Vibrationen einer der beiden anderen Axen parallel liegen, mifst entweder durch das gewöhnliche Verfahren der Beobachtung der Brechung oder durch das weit empfindlichere, von dem Interferenzprincip dargebotene, welches die kleinsten Geschwindigkeits-Unterschiede zu

*) Indem ich die einfache und zierliche Construction, welche Hr. Biot zur Bestimmung der Polarisationsebenen gegeben hat, für eine Folgerung aus unserer Theorie erkläre, will ich damit nicht sagen, dafs ich einen Antheil an der Ehre dieser Entdeckung habe, denn die Arbeiten des Hrn. Biot über die Doppelbrechung sind weit älter als die meinigen. Ich will nur sagen, dafs das von ihm entdeckte Gesetz sich nothwendig aus der von mir dargelegten Theorie ergiebt, und dafs es sich hier um eine auffallende Bestätigung derselben handelt, und nicht blofs um eine Thatsache, welche man etwa durch Hülfe einer willkührlichen Constanten oder mittelst einer Hülfshypothese mit dem Calcül in Uebereinstimmung gebracht hätte.

bestimmen erlaubt. Das Licht nimmt, wenn es den Krystall parallel der Axe der x durchläuft, zwei Geschwindigkeiten an, welche, gemessen, die Constanten b und c geben; parallel der Axe der y sind seine beiden Geschwindigkeiten: a und c; und parallel der Axe der z sind sie: a und b. Zwei solcher Messungen, mit Sorgfalt gemacht, reichen demnach in aller Strenge zur Bestimmung der drei Gröfsen a, b, c hin.

Aus der auf die Gleichung (D) angewandten Huyghens'schen Construction lassen sich allgemeine Formeln ableiten, welche die Richtung der gebrochenen Strahlen geben für alle Richtungen der einfallenden Strahlen und alle Neigungen der Krystallfläche gegen die genannten Axen, wie es Malus für den Kalkspath gethan, wo die aufserordentliche Welle ein Umdrehungs-Ellipsoïd bildet. Ich habe diese Formeln nicht berechnet, da ich sie zur Verification meiner Theorie über den Topas nicht nöthig hatte. Ueberhaupt, so lange es sich nur um Krystalle mit schwacher Doppelbrechung handelt, und man nur die Divergenz der beiden mit dem prismatisch geschnittenen Krystall erhaltenen Lichtbündel suchen will, reicht es hin, dafs man zuvörderst die Richtung des Lichtstrahls in dem Krystall annähernd nach dem Cartesischen Gesetz aus dem Brechungsverhältnifs der ordentlichen und aufserordentlichen Strahlen bestimme; und wenn man dadurch die Richtung des gebrochenen Strahles genähert kennt, kann man die zwei entsprechenden Geschwindigkeiten mittelst der Gleichung (D), oder die beiden Geschwindigkeiten der Welle, senkrecht gegen deren Ebene, mittelst der Gleichung (C) berechnen, welche letztere die Durchschnittslinie der Elasticitätsfläche mit einer diametralen, der Welle parallelen Ebene vorstellt, in der m und n gegeben sind, sobald man die Richtung der gebrochenen Welle kennt. Sind diese beiden Geschwindigkeiten einmal bekannt, so wird es leicht, daraus die Richtung und die Divergenz der beiden ausfahrenden

Lichtbündel oder Wellensysteme abzuleiten. Wollte man überdiefs die Genauigkeit weiter treiben, so müfste man mit der so berechneten Geschwindigkeit eine neue mehr angenäherte Richtung des Strahls oder der Wellenebene in dem Krystall bestimmen, und abermals die Geschwindigkeit berechnen, entweder mittelst der Gleichung (*D*) oder mittelst der Gleichung (*C*), je nachdem man die Geschwindigkeit in Richtung des Strahls oder in der des auf die Wellenebene gefällten Perpendikels haben will; und hieraus wieder die Richtung jedes der beiden ausfahrenden Lichtbündel bestimmen. Diese Methode ist eben so genau und viel weniger beschwerlich, als der Gebrauch der eben besprochenen Formeln, welche ohne Zweifel sehr complicirt seyn würden. Sie ist selbst auf Krystalle von der stärksten Doppelbrechung anwendbar, sobald man die Operation nur oft genug wiederholt.

Handelt es sich darum, das Gesetz der Geschwindigkeiten durch einen Diffractionsversuch zu verificiren, so braucht man nur die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der gebrochenen Welle senkrecht gegen deren Ebene zu betrachten. Diefs ist sogar die einfachste Methode, weil der Versuch unmittelbar den Unterschied zwischen der Anzahl der zweierlei, in der Dicke der Platte ausgeführten Undulationen giebt, woraus man leicht den Gangunterschied der beiden Wellensysteme geradezu ableiten kann, weil die Anzahl der zweierlei Undulationen gleich ist der Dicke der Platte, dividirt durch die zwei Undulationslängen oder die zwei, senkrecht gegen die Wellen gemessenen Geschwindigkeiten, welche Schiefe übrigens die Strahlen gegen die Wellenfläche auch haben mögen.

Gesetzt z. B. es gehe senkrecht durch eine Krystallplatte mit parallelen Flächen *ABFD* (Fig. 11 Taf. V) ein Lichtbündel, der von einem so entfernten Punkt herstammt, dafs man die einfallende Welle, welche die Bre-

chung erleidet, in dem kleinen Stück AB als eben betrachten kann. Die gebrochene Welle wird demnach in allen ihren successiven Lagen eben und mit AB parallel seyn; folglich braucht man nur die Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser Welle, gemessen in Richtung CD, senkrecht auf AB, zu kennen, um zu erfahren, welche relative Zeit zum Durchlaufen der Dicke der Platte nöthig war, oder wie viel Undulationen darin ausgeführt wurden. Es ist überflüssig, die schiefe Richtung ED zu berechnen, durch welche die *gebrochenen Strahlen* in D, dem Schlitz T im Schirm gegenüber, anlangen; wenn man indeſs, statt die Geschwindigkeit aus der angeführten Gleichung, in welcher dieselbe als gemessen in Richtung des Perpendikels der Welle vorausgesetzt ist, abzuleiten und anzuwenden, diesen Weg einschlüge, müſste man sich der durch die Gleichung (D) gegebenen, in Richtung des Strahls ED gezählten Geschwindigkeit bedienen, wodurch man offenbar zu demselben Resultat gelangen würde.

Definition des Wortes: Strahl.

Das Wort *Strahl* muſs, wie schon Huyghens bemerkt hat, in der Wellenlehre immer auf die Linie angewandt werden, die vom Mittelpunkt der Welle zu einem Punkte ihrer Oberfläche geht, wie auch diese Linie gegen das Wellenelement, worin sie endigt, geneigt seyn mag; denn diese Linie besitzt in der That alle optischen Eigenschaften von dem, was man im Emissionssysteme *Strahl* nennt. Will man demnach die Ergebnisse der ersteren Theorie in die Sprache der letzteren übertragen, so muſs man immer annehmen, daſs die Linie, welche gemäſs der Emissionslehre von den Lichttheilchen durchlaufen wird, dieselbe Richtung habe wie der Strahl, welcher vom Mittelpunkt der Welle zu dem betrachteten Punkte ihrer Oberfläche gezogen wird. Was wir vorhin zur Aufstellung dieses Satzes gesagt haben, könnte vielleicht

leicht als hinreichend erscheinen; jedoch halten wir es nicht für überflüssig, ihn durch eine neue Betrachtung, die auf einer anderen Herleitungsart der Richtung des gebrochenen Strahls aus dem Versuche beruht, noch zu unterstützen.

Fernere Betrachtung, welche ebenfalls zeigt, dafs der Fahrstrich der Wellenfläche die Richtung des Lichtstrahls ist.

Gesetzt, die einfallende Welle sey, wie vorhin, eben und der Eintrittsfläche am Krystall parallel, der mit einem kleinen Loch versehene Schirm aber nicht an der Hinter-, sondern an der Vorderfläche befindlich, und man wolle bestimmen die Richtung des gebrochenen Strahles, der durch *D* geht, wo das eingelassene Licht die Hinterfläche trifft (Fig. 12 Taf. V). Der Punkt, welchen man als entsprechend der Axe des Lichtbündels betrachten wird, ist der Mittelpunkt *D* der kleinen hellen und dunkeln Ringe, die sich auf die Fläche *FD* projiciren; und dieser Mittelpunkt ist es, wo sich das Maximum des Lichts befindet, sobald das Loch *mn* klein genug gegen die Entfernung *ED* ist. Die Lage des Mittelpunkts *D* wird durch die Bedingung bestimmt, dafs die von verschiedenen Punkten *m* und *n* des Umfangs der Oeffnung ausgegangenen Lichtstrahlen zu gleicher Zeit in *D* anlangen. Dieser Punkt mufs also der Ort der gröfsten Helligkeit seyn, sobald der Durchmesser der Oeffnung gegen die Entfernung *ED* so klein ist, dafs der Gangunterschied zwischen den Strahlen, die vom Mittelpunkt und vom Umkreis ausgegangen sind, nicht gröfser als eine halbe Undulation ist. Um aber den Gang der Elementar-Erschütterungen zu vergleichen, die, in der Ausdehnung der kleinen Oeffnung, von den verschiedenen Theilen der Wellenfläche ausgehen, mufs man die Wellen betrachten, welche für sich in dem nämlichen Zeit-

raum diese Erschütterungen hervorbringen würden, und daraus den Unterschied ihrer Ankunftszeit in *D* ableiten.

Es sey *rDs* die Elementar-Welle, welche ihren Mittelpunkt in der Mitte der Oeffnung liegen hat; legt man an sie eine Tangential-Ebene *FD* parallel der einfallenden Welle *AB*, so genügt der Berührungspunkt *D* der von uns angeführten Bedingung. Denn die von *E* ausgegangene Elementarwelle wird diejenige seyn, die hier am ersten anlangt, und vermöge der allgemeinen Eigenschaft des Maximums oder Minimums werden, auf eine kleine Entfernung rings um den kürzesten Weg *ED*, alle Unterschiede gleich und symmetrisch seyn; d. h. alle Elementar-Wellen, die von den gleich weit von *E* entfernten Punkten *m* und *n* ausgehen, bleiben gegen die von *E* ausgegangene Welle um dieselbe Gröſse in *D* zurück und gelangen demnach gleichzeitig in *D* an. Da überdieſs die Variationen einer Function in der Nähe ihres Minimums oder Maximums am kleinsten sind, so werden also die Wege, welche die von der Oeffnung *mn* ausgegangenen Elementar-Wellen in demselben Augenblick zurückgelegt haben, am Punkte *D* die möglich kleinsten Unterschiede darbieten, und hier also die gröſste Uebereinstimmung zwischen den Vibrationen dieser Wellen stattfinden, wenn, wie wir voraussetzten, die gröſsten Unterschiede nicht eine halbe Undulation überschreiten. Es ist also im Punkte *D*, wo sich das Maximum des Lichts befindet, und folglich ist *ED* in dieser Beziehung, wie in jeder anderen, die Richtung des *Lichtstrahls in dem Krystall.* Man kann also, nach Fortnahme des Schirms, noch sagen, daſs die *gebrochenen Strahlen,* welche von den verschiedenen Theilen der einfallenden, als unbegränzt angesehenen Welle ausgehen, parallel der Linie *ED* sind, d. h. dem Fahrstrich, der auf den Punkt der inneren Wellenfläche gerichtet ist, für welchen die Tangential-Ebene parallel liegt der gebrochenen Welle.

Ist der Sinn, in welchem man das Wort *Lichtstrahl* zu nehmen hat, wohl festgestellt, so sieht man, dafs das Ellipsoïd, welches über dieselben rechtwinkligen Axen wie die Elasticitätsfläche construirt wird, durch die beiden Halbaxen seines diametralen Schnitts in *aller Strenge* die Geschwindigkeiten der *auf diesem Schnitt senkrecht stehenden gebrochenen Strahlen* giebt, gleich wie durch die analoge, in der Elasticitätsfläche gemachte Construction die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der diesem diametralen Schnitt parallelen Wellen, diese Geschwindigkeiten senkrecht gegen die Wellenebene gerechnet, gegeben werden. So verstanden, ist die erste Construction eine mathematische Folgerung aus der zweiten, und sie repräsentirt die Phänomene eben so genau wie diese, wie stark die Doppelbrechung oder wie ungleich die drei Axen a, b, c übrigens auch seyn mögen.

Das Huyghens'sche Gesetz für die Doppelbrechung des Kalkspaths in die Sprache des Emissionssystems übersetzend, hat Laplace durch eine gelehrte Anwendung des Satzes von der kleinsten Wirkung gefunden, dafs der Unterschied zwischen den Quadraten der Geschwindigkeiten des ordentlichen und aufserordentlichen Strahls proportional sey dem Quadrat des Sinus vom Winkel, den der aufserordentliche Strahl mit der Axe des Krystalls macht. Durch Analogie geleitet hat Hr. Biot gedacht, in den zweiaxigen Krystallen sey der nämliche Unterschied proportional dem Product aus den Sinus der Winkel, welche der aufserordentliche Strahl mit jeder der optischen Axe macht, einem Producte, das, im Fall die beiden Axen zu einer einzigen zusammenfallen, proportional ist dem Quadrat des Sinus. Hr. Biot hat dieses Gesetz durch zahlreiche Messungen über den Divergenzwinkel zwischen dem ordentlichen und aufserordentlichen Lichtbündel verificirt. Er verglich diese Messungen mit den Zahlen, welche durch den Satz von der kleinsten Wirkung aus dem Gesetz vom Product der Si-

nus abgeleitet wurden, und fand dadurch immer eine genügende Uebereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Rechnung und denen der Erfahrung. Durch Transformation der mehr verwickelten Formeln, welche früher Hr. Brewster aus seinen Beobachtungen abgeleitet hatte, erkannte Hr. Biot, dafs das von ihm durch Analogie aufgefundene Gesetz vom Product der Sinus implicite in diesen Formeln enthalten sey. Die Richtigkeit des Gesetzes vom Product der Sinus war mithin durch die Versuche des schottischen Physikers, wie durch die des Hrn. Biot, festgestellt.

Um dasselbe in die Sprache des Undulationssystems zu übersetzen, mufs man sich erinnern, dafs in diesem die Geschwindigkeiten der einfallenden und gebrochenen Strahlen die umgekehrten von denen im Emissionssystem sind; der Unterschied zwischen den Quadraten der Geschwindigkeiten des ordentlichen und aufserordentlichen Lichtbündels, unter dem Gesichtspunkt dieses Systems betrachtet, entspricht demnach in dem Undulationssystem dem Unterschied der Quotienten aus der Einheit dividirt durch die Quadrate der genannten Geschwindigkeiten. Nun werde ich zeigen, dafs nach der Construction, welche ich gegeben habe, um die Geschwindigkeit der Lichtstrahlen durch einen normalen Schnitt in dem über die drei Elasticitäts-Axen construirten Ellipsoïd zu bestimmen, der eben erwähnte Unterschied in der That gleich seyn mufs einem constanten Factor, multiplicirt durch das Product der beiden Sinus.

Theoretischer Beweis des von den HH. Biot und Brewster gegebenen Gesetzes über die Unterschiede zwischen den Quadraten der Geschwindigkeiten.

Es seyen, in Fig. 13 Taf. V, BB' und CC' der gröfste und kleinste Durchmesser des Ellipsoïds; den ersteren nehme ich zur Axe der x, den letzteren zur Axe der z, und der mittlere in den Mittelpunkt A des Ellip-

soïds projicirte Durchmesser falle mit der Axe der y zusammen. Nennt man *optische Axen* diejenigen Richtungen in einem lichtbrechenden Mittel, nach welchen die durchgehenden *Strahlen* nur eine einzige Geschwindigkeit haben können, so besitzen, gemäfs der die Geschwindigkeit der Strahlen bestimmenden Construction, diese Eigenschaft die beiden auf den Kreisschnitten senkrechten Durchmesser des Ellipsoïds. Diefs gesetzt sey:

$$fx^2+gy^2+hz^2=1$$

die Gleichung des Ellipsoïds. Macht man $y=0$, so hat man $fx^2+hz^2=1$ für die Gleichung der Ellipse:

$$CMBNC'M'B'N',$$

in der Ebene der Figur, die, wie wir voraussetzen, mit der Ebene der xz zusammenfällt. Die beiden diametralen Ebenen MM' und NN', welche das Ellipsoïd in einem Kreise schneiden, gehen durch die in A projicirte mittlere Axe, und müssen mit der Axe der x einen solchen Winkel i machen, dafs die beiden Halbmesser AM und AN gleich seyen der mittleren Halbaxe des Ellipsoïds, oder dafs die Quadrate der ersteren gleich seyn dem Quadrat der letzteren, welches $\frac{1}{g}$ ist. Bezeichnet man AM oder AN durch r, so hat man,

$$z=r\sin i \text{ und } x=r\cos i.$$

Substituirt man diese Werthe in der Gleichung für die Ellipse $fx^2+hz^2=1$, so kommt:

$$fr^2\cos^2 i+hr^2\sin^2 i=1,$$

oder, weil $r^2=\frac{1}{g}$,

$$f\cos^2 i+h\sin^2 i=g,$$

woraus:

$$\sin^2 i=\frac{f-g}{f-h};\ \cos^2 i=\frac{g-h}{f-h};\ \tang^2 i=\frac{f-g}{g-h}.$$

Die Gleichung der Ebene AM ist also:

$$z=x\sqrt{\frac{f-g}{g-h}}$$

und die der Ebene AN des anderen Schnitts:

$$'z = -x\sqrt{\frac{f-g}{g-h}}$$

Es sey $y = px + qz$ die Gleichung der diametralen Ebene, welche senkrecht gegen einen Lichtstrahl von beliebiger Richtung gelegt ist. Berechnet soll nun werden: der Unterschied zwischen den beiden Quotienten aus der successiven Division der Einheit durch die Quadrate der Halbaxen des elliptischen Schnitts, in Function der Winkel, welche die Ebene dieses Schnitts mit den Ebenen der beiden Kreisschnitte macht; denn diese Winkel sind denen gleich, welche die Normale dieser Ebene, oder der Lichtstrahl, mit den Normalen der beiden Kreisschnitte, d. h. mit den beiden optischen Axen des Krystalles macht.

Nennt man nun m den Winkel zwischen der Ebene $y = px + qz$ und dem Kreisschnitt MM', so wie n den Winkel zwischen derselben Ebene und dem andern Kreisschnitt NN', so hat man:

$$\cos m = \frac{p\sqrt{f-g} - q\sqrt{g-h}}{\sqrt{f-h} \times \sqrt{1+p^2+q^2}}$$

und:

$$\cos n = \frac{p\sqrt{f-g} + q\sqrt{g-h}}{\sqrt{f-h} \times \sqrt{1+p^2+q^2}},$$

woraus:

$$\frac{q^2}{p^2} = \frac{(f-g)(\cos n - \cos m)^2}{(g-h)(\cos n + \cos m)^2}$$

und:

$$\frac{1}{p^2} = \frac{1}{(f-h)(g-h)(\cos n + \cos m)^2}\Big[-(f-h)(g-h)(\cos n + \cos m)^2$$
$$-(f-g)(f-h)(\cos n - \cos m)^2 + 4(f-g)(g-h)\Big]$$

Berechnen wir nun die beiden Durchmesser des elliptischen Schnitts, welche die Geschwindigkeiten des ordentlichen und außerordentlichen Strahls in senkrechter

Richtung auf der Ebene dieses Schnittes geben; dazu reicht es hin, dafs man die Polargleichung des Ellipsoïds bilde, und die *gröfsten* und *kleinsten* Werthe des in dieser Ebene liegenden Fahrstrichs suche.

Es seyen

$$x = \alpha y \text{ und } z = \beta y$$

die allgemeinen Gleichungen des Fahrstrichs. Das Quadrat seiner Längen wird seyn: $x^2 + y^2 + z^2$ oder: $y^2(1+\alpha^2+\beta^2)$, wo y dem Durchschnittspunkt der Geraden mit der Fläche des Ellipsoïds entspricht. Da für diesen Punkt die Gleichungen der Geraden und der Ellipsoïd-Fläche gleichzeitig gelten, so hat man:

$$y^2(f\alpha^2 + h\beta^2 + g) = 1,$$

woraus:

$$y^2 = \frac{1}{f\alpha^2 + h\beta^2 + g},$$

folglich ist das Quadrat des Fahrstrichs gleich:

$$\frac{1+\alpha^2+\beta^2}{f\alpha^2+h\beta^2+g}$$

welchen Ausdruck wir gleich $\frac{1}{t}$ setzen werden, damit die Variable t den Quotienten aus der Einheit dividirt durch das Quadrat des Fahrstrichs vorstelle. Wir erhalten dadurch die Polargleichung des Ellipsoïds:

$$f\alpha^2 + h\beta^2 + g = t(1+\alpha^2+\beta^2),$$

von der Petit eine so elegante Anwendung auf die allgemeine Discussion der Flächen des zweiten Grades gemacht hat.

Um auszudrücken, dafs der besondere Fahrstrich, den wir betrachten, in der Ebene $y = px + qz$ enthalten sey, mufs man $1 = p\alpha + q\beta$ schreiben, welche Gleichung durch Differentiation in Bezug auf α und β giebt:

$$\frac{d\beta}{d\alpha} = -\frac{p}{q}.$$

Differentiirt man eben so die Polargleichung des Ellip-

soïds, β und t dabei als Function von α betrachtend, so hat man:

$$2f\alpha+2h\beta\frac{d\beta}{d\alpha}=(1+\alpha^2+\beta^2)\frac{dt}{d\alpha}+2t\alpha+2t\frac{d\beta}{d\alpha},$$

oder, wenn man für $\frac{d\beta}{d\alpha}$ den obigen Werth $-\frac{p}{q}$ setzt:

$$2qf\alpha-2ph\beta-2tq\alpha+2tp\beta=(1+\alpha^2+\beta^2)\frac{dt}{d\alpha},$$

woraus:

$$\frac{dt}{d\alpha}=\frac{2qf\alpha-2ph\beta-2tq\alpha+2tp\beta}{1+\alpha^2+\beta^2}.$$

Sobald der Fahrstrich sein Maximum oder Minimum erreicht, ist t auf seinem Minimum oder Maximum, und folglich wird $\frac{dt}{d\alpha}$ gleich Null. Mithin hat man:

$$2qf\alpha-2ph\beta-2tq\alpha+2tp\beta=0,$$

oder:

$$\alpha q(t-f)-\beta p(t-h)=0.$$

Fügt man dieser Beziehung die Bedingungsgleichung

$$p\alpha+q\beta=1$$

hinzu, welche ausdrückt, dafs der Fahrstrich in der Ebene des elliptischen Schnittes liegt, so zieht man daraus folgende dem Maximum und Minimum des Fahrstrichs entsprechende Werthe von α und β:

$$\alpha=\frac{p(t-h)}{p^2(t-h)+q^2(t-f)}$$

$$\beta=\frac{q(t-f)}{p^2(t-h)+q^2(t-f)}.$$

Die Polargleichung des Ellipsoïds läfst sich unter die Form bringen:

$$\alpha^2(t-f)+\beta^2(t-h)+t-g=0,$$

und setzt man an die Stelle von α und β ihre Werthe, so kommt:

$$p^2(t-h)^2(t-f)+q^2(t-f)^2(t-h)$$
$$+(t-g)[p^2(t-h)+q^2(t-f)]^2=0,$$

od er:

$$(t-f)(t-h)[p^2(t-h)+q^2(t-f)]$$
$$+(t-g)[p^2(t-h)+q^2(t-f)]^2=0,$$

oder endlich, wenn man den gemeinschaftlichen Factor: $p^2(t-h)+q^2(t-f)$ fortschafft:

$$(t-f)(t-h)+p^2(t-g)(t-h)+q^2(t-f)(t-g)=0;$$

eine Gleichung des zweiten Grades, welche zugleich den Maximum- und den Minimum-Werth von t giebt, d. h. die beiden Werthe von t, welche denen der Halbaxen des elliptischen Schnitts correspondiren.

Man kann diese Gleichung durch p^2 dividiren, und sie unter die Form setzen:

$$(t-f)(t-h)\frac{1}{p^2}+(t-g)(t-h)+\frac{q^2}{p^2}(t-f)(t-g)=0,$$

und wenn man für $\frac{1}{p^2}$ und $\frac{q^2}{p^2}$ die vorhin in Function der Winkel m und n gefundenen Werthe setzt, so gelangt, man nach gemachten Reductionen, zu der Gleichung:

$$t^2-t[f+h-(f-h)\cos n\,.\,\cos m]+fh$$
$$+\tfrac{1}{4}(\cos^2 n+\cos^2 m)(f-h)^2-\tfrac{1}{2}\cos n\,.\,\cos m(f^2-h^2)=0$$

woraus:

$$t=\tfrac{1}{2}(f+h)-\tfrac{1}{2}(f-h)\cos n\cos m$$
$$\pm\tfrac{1}{2}(f-h)\sqrt{1+\cos^2 n\,.\,\cos^2 m-\cos^2 n-\cos^2 m}$$

oder:

$$t=\tfrac{1}{2}(f+h)-\tfrac{1}{2}(f-h)\cos n\cos m$$
$$\pm\tfrac{1}{2}(f-h)\sin n\,.\,\sin m\ \ .\ .\ (*)$$

Mithin ist der Unterschied zwischen den beiden Werthen von t, oder die gesuchte Gröfse gleich:

$$(f-h)\sin n\,.\,\sin m.$$

Folglich ist dieser Unterschied proportional dem Pro-

*) Die beiden Werthe von t, welche die Quotienten aus der successiven Division der Eins durch die Quadrate der Geschwindigkeiten des ordentlichen und des aufserordentlichen Strahles geben, können unter folgende Form gebracht werden:

$$t=\tfrac{1}{2}(f+h)-\tfrac{1}{2}(f-h)\cos(m+n)$$
$$t=\tfrac{1}{2}(f+h)-\tfrac{1}{2}(f-h)\cos(m-n).$$

duct der Sinus der beiden Winkel m und n, was eben zu beweisen war.

Die in Rede stehenden Winkel sind diejenigen, welche die gemeinschaftliche Richtung des ordentlichen und aufserordentlichen Strahls mit den beiden, auf den Kreisschnitten senkrecht stehenden Durchmesser des Ellipsoïds macht, welche Durchmesser wir *optische Axen* genannt haben, in der Annahme, dafs man diesen Namen denjenigen zwei Richtungen geben müsse, nach welchen die *Strahlen* den Krystall durchdringen, ohne Doppelbrechung zu erleiden. Es ist jedoch zu bemerken, dafs im Allgemeinen diese Strahlen das Element der Wellenfläche, zu dem sie gehören, in schiefer Richtung treffen. Nun haben wir vorhin gesagt, dafs wenn die Krystallfläche diesem Elemente oder seiner Tangential-Ebene parallel wäre, man dem einfallenden Lichtbündel die normale Richtung geben müfste, wenn er beim Durchgange durch den Krystall keine Doppelbrechung erleiden soll, und es könnte demnach scheinen, als müfste man den Namen: *optische Axen*, auch diesen beiden, mit den Normalen der beiden Kreisschnitte des Ellipsoïds nicht coincidirenden Richtungen der einfallenden Strahlen geben; so dafs die Richtung der optischen Axen verschieden seyn würde, je nachdem man sie nach der Richtung der *einfallenden* Strahlen, die zugleich auf der Fläche der einfallenden und der gebrochenen Wellen senkrecht wären, oder nach der *diesen Wellen entsprechenden* Richtung der *gebrochenen Strahlen* beurtheilte. Zwar ist dieser Unterschied in fast allen zweiaxigen Krystallen sehr gering; allein es giebt auch einige, bei denen er beträchtlicher ist, und für die man die beiden Richtungen nicht verwechseln darf. Am zweckmäfsigsten scheint es, der Richtung, in welcher die *gebrochenen Strahlen*, ohne Doppelbrechung zu erfahren, den Krystall durchlaufen, den Namen der *optischen Axe* zu geben. Diese Definition angenommen, wird das Gesetz vom Product der Sinus der Winkel,

welche irgend ein Strahl mit den beiden optischen Axen macht, eine strenge Folgerung aus unserer Theorie, wie wir auch bewiesen haben.

Bis hieher haben wir uns blofs mit der Geschwindigkeit und der Richtung der Wellen und Strahlen beschäftigt; jetzt wollen wir ihre Polarisationsebenen untersuchen.

Polarisationsebenen der ordentlichen und aufserordentlichen Wellen.

Nach dem was wir zu Anfange dieser Abhandlung sagten, als wir unsere Hypothese über die Natur der Lichtvibrationen aus den Interferenzerscheinungen der polarisirten Strahlen ableiteten, mufs die Polarisationsebene entweder parallel oder senkrecht gegen die Richtung der Lichtvibrationen seyn. Es handelt sich jetzt nur darum, unter diesen beiden Richtungen diejenige zu wählen, welche mit der hergebrachten Annahme übereinstimmt. Nun nennt man in einaxigen Krystallen: Polarisationsebene des ordentlichen Lichtbündels, diejenige Ebene, welche durch diesen Bündel parallel mit der Axe gelegt werden kann. Ferner ist klar, dafs die ordentlichen Vibrationen, d. h. diejenigen, welche immer die nämliche Elasticität in Thätigkeit setzen, senkrecht gegen die Axe des Krystalls geschehen; denn bei einaxigen Krystallen wird die Elasticitätsfläche immer eine Umdrehungsfläche, und jeder diametrale Schnitt hat immer seinen gröfsten oder kleinsten Fahrstrich in der Durchschnittslinie seiner Ebene mit dem Aequator liegen. Dieser Fahrstrich bleibt also constant, weil der Aequator ein Kreis ist, und giebt demnach die Richtung der ordentlichen Vibrationen. Man sieht daraus, dafs diese Vibrationen immer senkrecht auf der Axe des Krystalls sind, so dafs die Ebene, welche durch diese Axe und den ordentlichen Strahl gelegt ist, senkrecht steht auf diesen Vibrationen, weil diese, wegen der Kugelform der Wellen, denen sie angehören, auch senkrecht sind auf dem ordentlichen Strahl. Diese

Ebene aber ist es gerade, welche, wie eben gesagt, man nach Uebereinkunft: *Polarisationsebene des ordentlichen Strahls* zu nennen pflegt; mithi nwerden wir unter *Polarisationsebene einer Lichtwelle* diejenige Ebene verstehen, welche auf der Richtung der Vibrationen dieser Welle senkrecht steht.

Diese theoretische Definition stimmt mit dem Sinn überein, welchen man im Emissionssystem mit dem Ausdruck: *Polarisationsebene*, verbindet, so lange die Welle sphärisch ist und ihre Vibrationen senkrecht sind auf den Lichtstrahl, weil alsdann die Polarisationsebene immer durch den Strahl geht. Wenn aber die Vibrationen schief gegen den Strahl liegen, so enthält die Polarisationsebene, welche nach unserer Definition auf diesen Vibrationen immer senkrecht stehen mufs, nicht mehr den Lichtstrahl, während man sie, im Emissionssystem, immer als in Richtung dieses Strahles liegend ansicht. Bei den Mitteln, in denen die Wellen keine Kugelgestalt besitzen, legt man also, nach den beiden Theorien, den Polarisationsebenen der Strahlen nicht genau dieselbe Richtung bei. Allein erstlich ist die Verschiedenheit immer sehr gering, weil die Fläche der Lichtwellen, selbst in den Krystallen mit stärkster Doppelbrechung, nicht sehr von der Kugelgestalt abweicht, und zweitens ist es auch überflüssig, bei den Versuchen, welche Hr. Biot und andere Physiker über die Richtung der Polarisationsebenen der ordentlichen und aufserordentlichen Strahlen angestellt haben, darauf Rücksicht zu nehmen, weil sie die Richtung der gebrochenen Strahlen immer aufserhalb des Krystalls und nach der Richtung der Polarisationsebenen der einfallenden oder ausfahrenden Strahlen beurtheilt haben.

Wollte man z. B. die Polarisationsebene der ordentlichen und der aufserordentlichen Brechung in einer Platte mit parallelen und gegen die einfallenden Strahlen senkrecht liegenden Flächen bestimmen; so braucht man nur

polarisirtes Licht einfallen zu lassen, und die Platte in ihrer Ebene so lange drehen, bis der ausfahrende Lichtbündel bei Untersuchung mit einem Kalkspath-Prisma keine Spur von Depolarisation mehr zeigt. Ist diese Bedingung erfüllt, so kann man schliefsen, dafs die Polarisationsebene der gebrochenen Welle zusammenfällt mit der der einfallenden Welle. Es giebt für die Platte immer zwei Lagen, welche dieser Bedingung genügen, und also ein Mittel liefern, die Richtung der Polarisationsebene der ordentlichen und aufserordentlichen Brechung in dem Krystall zu bestimmen. Da bei diesem Versuch die einfallende Welle den Flächen der Krystallplatte parallel ist, so behält sie diesen Parallelismus beim Durchgange, und wenn die Vibrationen dieser einfallenden Welle von gleicher Richtung sind mit einer der Axen des parallelen diametralen Schnitts in der Elasticitätsfläche, so erleiden sie bei ihrem Durchgang durch den Krystall keine Ablenkung. Dann haben die einfallende, gebrochene und ausfahrende Welle sämmtlich eine und dieselbe Polarisationsebene, und ihre Flächen sind einander parallel, obgleich übrigens die gebrochenen Strahlen schief gegen ihre Wellen stehen, und demnach nicht auf der Verlängerung der einfallenden und ausfahrenden Strahlen liegen könnten. In diesem Fall giebt die Definition von der Polarisationsebene nach dem Emissionssystem für die Polarisationsebene der gebrochenen Strahlen nicht genau dieselbe Richtung wie die aus unserer Theorie gezogene Definition, wiewohl übrigens beide übereinstimmen hinsichtlich der Richtung der Polarisationsebenen der einfallenden und ausfahrenden Strahlen, welche allein unmittelbar durch Beobachtung bestimmt werden können.

Als wahre Polarisationsebene immer diejenige betrachtend, welche senkrecht auf den Lichtvibrationen steht, will ich zeigen, dafs die Polarisationsebene der ordentlichen und aufserordentlichen Wellen immer die Winkel halbiren, welche zwei Ebenen, gelegt nach der Normale

der Welle und den Normalen der beiden Kreisschnitt-Ebenen der Elasticitätsfläche, mit einander machen.

Hrn. Biot's Regel zur Bestimmung der Richtung der Polarisationsebenen der ordentlichen und aufserordentlichen Strahlen stimmt mit der in dieser Abhandlung aus einander gesetzten Theorie überein.

Angenommen, man lege durch die Elasticitätsfläche parallel der Welle eine diametrale Ebene, so werden die beiden Axen dieses Schnitts die Richtungen der ordentlichen und aufserordentlichen Vibrationen geben. Wenn man also durch den Mittelpunkt zwei Ebenen senkrecht gegen diese zwei Durchmesser legt, so werden diese respective die Polarisationsebene der ordentlichen und aufserordentlichen Vibrationen seyn. Nun mufs man bemerken: 1) dafs jede dieser Ebenen durch eine der Axen des Schnittes geht, weil letztere senkrecht auf einander sind; 2) dafs die Axen des diametralen Schnitts, da jede denselben in zwei symetrische Hälften theilt, den stumpfen und scharfen Winkel, gebildet von den beiden Linien, in welchen jener diametrale Schnitt die beiden Kreisschnitte trifft, halbirt, weil in diesen Linien die Fahrstriche des diametralen Schnitts zugleich den beiden Kreisschnitten, die gleiche Durchmesser besitzen, angehören, und folglich einander gleich sind.

Denken wir uns nun eine Kugel concentrisch mit der Elasticitätsfläche. Die Ebene des diametralen Schnitts und die Ebenen der beiden Kreisschnitte werden auf dieser Kugel ein sphärisches Dreieck abschneiden, von dessen Seiten die in der ersteren Ebene liegende durch eine der Polarisationsebenen halbirt wird. Das supplementare Dreieck wird gebildet von den durch den gemeinschaftlichen Mittelpunkt gezogenen Normalen dieser drei Ebenen, d. h. es entsteht aus der Intersection der Kugelfläche mit den drei Ebenen, die durch je zwei dieser drei Normalen gelegt worden sind. Die Ebenen nun, wel-

che die Seiten des ersten Dreiecks halbirten, halbiren auch, nach einer leicht zu erweisenden Eigenschaft der supplementaren Dreiecke, die Winkel des zweiten Dreiecks. Die Polarisationsebene, welche die im diametralen Schnitt liegende Seite des ersteren Dreiecks halbirt, halbirt mithin auch den entsprechenden Winkel des zweiten Dreiecks, d. h. den Winkel zwischen den beiden Ebenen, welche nach der Normale der Welle und den auf den beiden Kreisschnitten senkrechten Durchmessern gelegt worden sind. Aus demselben Grunde mufs die andere Polarisationsebene das Supplement dieses körperlichen Winkels halbiren.

Aus seinen Beobachtungen über die Doppelbrechung des Topases und mehrerer anderer zweiaxiger Krystalle hat Hr. Biot zur Bestimmung der Polarisationsebenen der ordentlichen und aufserordentlichen Strahlen folgende Regel abgeleitet.

Man denke sich eine Ebene gelegt durch jede Axe des Krystalls und durch den ordentlich gebrochenen Strahl, ferner eine dritte Ebene, durch denselben Strahl gelegt, die den Winkel zwischen den beiden ersteren Ebenen halbirt. Die Lichttheilchen, welche die ordentliche Brechung erlitten haben, sind nach dieser halbirenden Ebene polarisirt; und die Lichttheilchen, welche die aufserordentliche Brechung erlitten haben, sind senkrecht gegen die intermediäre Ebene polarisirt, welche nach denselben Bedingungen durch den aufserordentlichen Strahl gelegt ist.

Die Linien, welche Hr. Biot hier *Axen des Krystalls* nennt, sind die, welche wir *optische Axen* genannt haben. Wir haben bemerkt, dafs man, um die Sprache des Undulationssystems mit der des Emissionssystems möglichst in Einklang zu bringen, optische Axe diejenige Richtung nenne müsse, in welche die Lichtstrahlen den Krystall, ohne Doppelbrechung zu erleiden, durchlaufen, und, mit Annahme dieser Definition, haben wir

gezeigt, daſs das Gesetz vom Product der beiden Sinus eine strenge Folgerung aus unserer Theorie ist. Dieſs ist nicht mehr der Fall bei der Regel, welche Hr. Biot zur Bestimmung der Polarisationsebenen gegeben hat. Seine Angabe stimmt nicht strenge mit der Construction überein, welche wir aus den Eigenschaften der Elasticitätsfläche abgeleitet haben. Denn die Winkel, welche nach dieser Construction, von den Polarisationsebenen halbirt werden, werden gebildet durch Ebenen, die nach der Normale der Welle und den Normalen der beiden Kreisschnitte der Elasticitätsfläche gelegt sind, und im Allgemeinen fällt die Normale der Welle nicht genau zusammen mit der Richtung der gebrochenen Strahlen, eben so wenig wie die Normalen der Kreisschnitte in der Elasticitätsfläche zusammenfallen mit den wahren optischen Axen, welche die Perpendikel auf den Kreisschnitten des Ellipsoïdes sind.

Das geometrische Theorem, welches wir so eben für die Elasticitätsfläche erwiesen, läſst sich zwar gleichfalls auf das Ellipsoïd anwenden; allein der gröſste und kleinste Fahrstrich des diametralen Schnitts, welcher in dem Ellipsoïd senkrecht gegen die Richtung des Strahls gemacht ist, geben nicht die Richtungen der Vibrationen dieses Strahls, und folglich sind die auf diesen Vibrationen senkrecht stehenden Ebenen nicht die wahren Polarisationsebenen der gebrochenen Wellen. Hrn. Biot's Regel stimmt also nicht streng mit unserer Theorie überein; allein man muſs bemerken: 1) daſs in den Krystallen, welche er angewandt hat, die Normalen der Kreisschnitte in der Elasticitätsfläche so wenig von der Richtung der wahren optischen Axen abweichen, daſs man sie, ohne merklichen Fehler für die Richtung der Polarisationsebenen, für diese Axen nehmen kann; 2) daſs in denselben Krystallen die nach den optischen Axen gerichteten Strahlen fast senkrecht stehen auf den entsprechenden Wellen; und 3) daſs dieser geschickte Physiker

nur

nur die Richtung der Polarisationsebenen bei den einfallenden oder ausfahrenden und nicht bei den gebrochenen Strahlen hat bestimmen gekonnt.

Die kleinen Unterschiede, welche wir hier durch die Theorie nachweisen, würden ohne Zweifel sehr schwierig durch die Erfahrung zu bestätigen seyn, selbst bei denjenigen zweiaxigen Krystallen, deren Doppelbrechung sehr stark ist; denn die Richtung der Polarisationsebene eines Strahles läfst sich durch die bekannten Wege nicht mit grofser Genauigkeit bestimmen; und hier tritt überdiefs noch die Schwierigkeit ein, dafs man nach den Beobachtungen, die an den ausfahrenden Strahlen gemacht sind, die Richtung der Polarisationsebenen im Innern des Krystalls bestimmen soll. Weit entfernt also, dafs die von Hrn. **Biot** aufgestellte Regel einen Einwand gegen unsere Theorie abgiebt, mufs man sie vielmehr als eine Bestätigung derselben ansehen, weil die kleine Abweichung, welche zwischen beiden vorhanden ist, hat nothwendig seinen Beobachtungen entgehen gemufst.

Die meisten Krystalle zeigen nur einen geringen Unterschied zwischen den Ebenen der Kreisschnitte, die in der Elasticitätsfläche und dem über dieselben Axen construirten Ellipsoïd gemacht sind.

Die beiden Kreisschnitte der Elasticitätsfläche haben gleiche Neigung gegen die durch die mittlere Axe gehende Ebene der xy, und die Tangente dieser Neigung ist, wie wir gesehen, gleich:

$$\sqrt{\frac{a^2-b^2}{b^2-c^2}}.$$

Die Tangente des Winkels, welche die beiden Kreisschnitte des Ellipsoïds mit derselben Ebene machen, ist gleich:

$$\frac{c}{a}\sqrt{\frac{a^2-b^2}{b^2-c^2}}.$$

Man sieht also aus diesen Formeln, dafs wenn die Doppelbrechung nicht sehr grofs ist, d. h. c wenig von

a abweicht, also $\frac{c}{a}$ fast der Einheit gleich ist, die Ebenen der Kreisschnitte beider Flächen beinahe zusammenfallen.

Bei dem Topas ist das Verhältniſs $\frac{c}{a}$ gleich: 0,9939; und beim Anhydrit, einem zweiaxigen Krystall von stärkster Doppelbrechung, ist dasselbe Verhältniſs, zufolge der Beobachtungen von Biot, gleich: 0,9725 *).

Bemerkungen über den Gang der Wellen und der gebrochenen Strahlen in Richtung der optischen Axen.

Soll eine ebene Welle beim Durchgange durch den Krystall nur eine einzige Fortpflanzungsgeschwindigkeit annehmen, so muſs sie in demselben den Kreisschnitten der Elasticitätsfläche parallel seyn. Diese Bedingung wird erfüllt, wenn man den Lichtbündel senkrecht einfallen läſst auf eine Krystallplatte, die parallel den Kreisschnitten der Elasticitätsfläche geschnitten ist; allein es ist zu

*) Nach den Beobachtungen des Hrn. Biot ist im klaren Topas der Winkel zwischen den beiden optischen Axen $= 63^0\ 14'\ 2''$ und im Anhydrit $= 44^0\ 41'\ 22''$; dieſs giebt $31^0\ 37'\ 1''$ und $22^0\ 20'\ 41''$ für den Werth der Winkel, deren Tangente durch $\frac{c}{a}\sqrt{\frac{a^2-b^2}{b^2-c^2}}$ ausgedrückt wird. Es folgt aus diesen Messungen, daſs der Winkel, welcher die Gröſse $\sqrt{\frac{a^2-b^2}{b^2-c^2}}$ zur Tangente hat, im ersteren Krystall $31^0 46' 25''$ und in dem zweiten $22^0 54' 43''$ beträgt. Mithin beträgt der Unterschied in der Richtung der Kreisschnitte des Ellipsoïds und der Elasticitätsfläche für den Topas nur $9'\ 24''$ und für den Anhydrit $34'\ 22''$.

Die Secunden in dem von Hrn. Biot angegebenen Werth der Winkel, welche wir hier niedergeschrieben haben, wollen nicht bedeuten, daſs man die Genauigkeit der Messung bis so weit treiben könne; vielmehr ist es sehr schwierig den Winkel zwischen den optischen Axen nur bis auf etwa einen halben Grad anzugeben.

bemerken, dafs die ordentlichen wie die aufserordentlichen Strahlen, die aus dem einfallenden Bündel entstehen, von der Normale auf dem Kreisschnitt des Ellipsoïds etwas abweichen. Begreiflicher wird diefs durch die Fig. 14 Taf. V, welche die Durchschnitte der Ebene xz mit den beiden Wellenflächen vorstellt, in welcher indefs die Elliptіcität der einen dieser Flächen übertrieben worden ist, um die Divergenz der Strahlen sichtlicher zu machen. Diese Durchschnitte bestehen aus einem Kreise und einer Ellipse, deren Gleichungen sind:

$$x^2+z^2=b^2 \text{ und } a^2x^2+c^2z^2=a^2c^2.$$

Die Ebene TS, welche parallel dem Kreisschnitt der Elasticitätsfläche und in der Entfernung b vom Mittelpunkt A gelegt ist, berührt zugleich den Kreis und die Ellipse in E und O, Berührungspunkten dieser Ebene mit der Wellenfläche. Mithin sind die Fahrstriche AO und AE die Richtungen des ordentlichen und aufserordentlichen Strahls, welche der dem Kreisschnitt der Elasticitätsfläche parallelen ebenen Welle TS entsprechen, und sie durchlaufen, obgleich auf verschiedenen Wegen, die Platte $tst's'$ in gleicher Zeit. Der Radius AL, der zum Durchschnittspunkt des Kreises und der Ellipse führt, und für welchen die beiden aus der Gleichung der Wellenfläche gezogenen Werthe gleich werden, ist die Richtung, in welcher die Strahlen nur eine einzige Geschwindigkeit anzunehmen vermögen, welche also die, von uns *optische Axe* genannte, Normale auf dem Kreisschnitt des Ellipsoïds ist. Für die Tangenten der Winkel, welche diese drei Fahrstriche mit der Axe der x machen, findet man:

$$\text{tang } OAT=\frac{a^2}{c^2}\sqrt{\frac{b^2-c^2}{a^2-b^2}}$$

$$\text{tang } LAT=\frac{a}{c}\sqrt{\frac{b^2-c^2}{a^2-b^2}}$$

$$\text{tang } EAT=\sqrt{\frac{b^2-c^2}{a^2-b^2}}.$$

Man sieht, diese Ausdrücke sind nur verschieden durch die Factoren $\frac{a}{c}$, $\frac{a^2}{c^2}$, welche sich in den meisten Krystallen sehr der Einheit nähern.

Alle ordentlichen oder aufserordentlichen Strahlen, die *LA* parallel sind, durchlaufen den Krystall in gleicher Zeit, und, weil sie gleichen Weg gehen, auch mit gleicher Geschwindigkeit *); allein aufserhalb des Krystalls divergiren sie, weil die beiden Tangential-Ebenen, welche von dem Punkt *L* an die beiden Stücke der Wellenfläche gelegt werden, merklich gegen einander neigen. Die Strahlen *AE* und *AO* dagegen, welche ebenfalls die Platte *tst's'* in gleicher Zeit, aber in verschiedener Richtung durchlaufen, werden aufserhalb des Krystalls einander parallel.

Variirt man die Neigung der Austrittsfläche am brechenden Mittel, so werden der Strahl *EA* und derjenige der beiden Strahlen *LA*, welcher zu demselben Wellenstück *EL* gehört, gemäfs dem Cartesischen Gesetz gebrochen, während der Strahl *OA* und der andere nach *LA* gerichtete Strahl, welcher dem zweiten Wellenstück *LO* angehört, aufserordentlich gebrochen werden. Diefs stellt einen neuen Unterschied fest zwischen den Kennzeichen der optischen Axen einaxiger und zweiaxiger Krystalle; denn bei den ersteren werden alle Strahlen, welche im Innern des Krystalls der optischen Axe parallel gehen, gemäfs dem Cartesischen Gesetz gebrochen, wie auch die Richtung und Neigung der Austrittsfläche seyn mag, weil diese Strahlen, indem sie alsdann parallel einer der

*) Diefs gilt für jede beliebige Richtung der Eintritts- und Austrittsfläche, weil die Strahlen der Linie *LA* folgen; dagegen gebrauchen die Strahlen *EA* und *OA* nur dann eine genau gleiche Zeit zur Durchlaufung der Krystallplatte, wenn deren Flächen *st* und *s't'* parallel einem der Kreisschnitte der Elasticitätsfläche sind.

Elasticitäts-Axen sind, zugleich auch senkrecht stehen auf den beiden Stücken der Wellenfläche.

Nach dieser Auseinandersetzung der Unterscheidungen, welche die Theorie deutlich nachweist, für die meisten Beobachtungen aber zu fein sind, und namentlich durch die des Hrn. Biot nicht augenfällig gemacht werden konnten, wollen wir für einen Augenblick die Polarisationsebenen einer weniger strengen Betrachtung unterwerfen, und die von jenem Physiker zur Bestimmung dieser Ebenen gegebene Regel annehmen, ohne etwas an seinen Ausdrücken zu ändern, damit wir uns einfacher und deutlicher erklären können.

Die Strahlen, welche von Biot und Brewster ordentliche genannt werden, sind diejenigen, deren Geschwindigkeitsänderungen die kleineren sind.

Wie bereits gesagt, giebt es in zweiaxigen Krystallen keinen Strahl, den man eigentlich den ordentlichen nennen könnte, weil keiner der beiden Strahlen den Krystall nach allen Richtungen mit gleicher Geschwindigkeit durchläuft; allein der Strahl, den man analog der für die einaxigen Krystalle angenommenen Bezeichnung, den ordentlichen nennt, ist derjenige, dessen Geschwindigkeitsänderungen die geringeren sind. Es ist leicht zu ersehen, dafs diefs derjenige ist, dessen Polarisationsebene den scharfen Winkel zwischen den durch die Richtung der Strahlen und die beiden optischen Axen gelegten Ebenen halbirt, während der Strahl, welcher das Supplement des eben genannten Winkels halbirt, die gröfseren Geschwindigkeitsänderungen erleidet.

In der That, welche Richtung auch der erstere Lichtbündel haben mag, so fällt doch seine Polarisationsebene innerhalb des scharfen Winkels QAP (Fig. 15 Taf. V) zwischen die beiden optischen Axen, und mithin liegt ihre Durchschnittslinie mit der Ebene der Figur ebenfalls

innerhalb dieses Winkels. Die Projection des auf der Polarisationsebene senkrechten Durchmessers des Ellipsoïds, die auf jener Durchschnittslinie senkrecht steht, liegt also nothwendig innerhalb des scharfen Winkels *MAN* oder *M'AN'* zwischen den beiden Kreisschnitten, weil diese auf den optischen Axen *PP'* und *QQ'* senkrecht sind. Folglich kann dieser Durchmesser die Elasticitätsfläche nicht aufserhalb der beiden Stücke treffen, deren Projectionen *M'B'N'A* und *MBNA* zu Gränzen haben Wenn man aber von *A* als Mittelpunkt und mit einem Radius gleich dem der Kreisschnitte eine Kugel beschreibt, so geht deren Fläche durch die des Ellipsoïds, in jenen beiden Stücken. Mithin wird keiner der Durchmesser des Ellipsoïds, der auf die Winkelfläche *MAN* oder *M'AN'* projicirt ist, kleiner seyn als der Durchmesser *MM'* der Kreisschnitte, welche der mittleren Axe des Ellipsoïds gleich ist. Die Länge der Fahrstriche, welche diesem Theil der Fläche entsprechen, hat also zur Gränze einerseits die grofse Halbaxe und andererseits die mittlere Halbaxe. Auf gleiche Art läfst sich beweisen, dafs die Fahrstriche, welche das Maafs der Geschwindigkeit für den andern Lichtbündel abgeben, nicht gröfser als die mittlere Halbaxe und nicht kleiner als die kleine Halbaxe seyn können.

In dem durch die Figur 15 dargestellten Fall, wo die kleine Elasticitäts-Axe den scharfen Winkel der beiden optischen Axen halbirt und die grofse Axe den stumpfen, ist der Unterschied zwischen der kleinen und mittleren Axe gröfser als der zwischen der mittleren und grofsen Axe, wie man aus dem Ausdruck $\frac{c}{a}\sqrt{\frac{a^2-b^2}{b^2-c^2}}$ der Tangente des Winkels, welchen die Ebenen der Kreisschnitte mit der grofsen Axe machen, ersieht; denn da dieser Winkel, der Hypothese nach, kleiner ist als 45°, so hat man $c^2(a^2-b^2) < a^2(b^2-c^2)$ oder bei-

nahe $a-b<b-c$, wenn man die Factoren $c(a+b)$ und $a(b+c)$ als fast einander gleich annimmt.

Die Schlüsse, welche wir so eben für das Ellipsoïd gemacht haben, lassen sich auch gleich gut auf die Elasticitätsfläche anwenden, welche durch die Axen ihrer diametralen Schnitte die wahren Richtungen der Lichtvibrationen giebt, folglich auch die Richtungen der Polarisationsebenen, die auf diesen Vibrationen senkrecht stehen. Nur sind die Geschwindigkeiten, welche man in diesem Fall betrachtet, nicht die der Lichtstrahlen, sondern die der Wellen, gemessen in Richtung des Perpendikels auf diesen; und die beiden Ebenen, welche den scharfen und stumpfen Winkel bilden, deren jeder durch die Polarisationsebenen halbirt wird, gehen nicht durch den Lichtstrahl und die beiden optischen Axen, sondern durch die Normale der Welle und die Normalen der beiden Kreisschnitte in der Elasticitätsfläche. Die Tangente der Neigung dieser Schnitte gegen die grofse Halbaxe a ist gleich $\sqrt{\frac{a^2-b^2}{b^2-c^2}}$, wird also kleiner als *Eins*, wenn $a^2-b^2<b^2-c^2$, und gröfser als *Eins*, wenn $a^2-b^2>b^2-c^2$; im letzteren Fall ist der Winkel zwischen den beiden Kreisschnitten oder deren Normalen, welcher die kleine Axe c enthält, also stumpf, während er im ersten Fall scharf ist.

Die Wellen mithin, deren Polarisationsebenen innerhalb des scharfen Winkels liegen, den die zwei durch die Normale der Welle und die Normalen der beiden Kreisschnitte gelegten Ebenen einschliefsen, sind diejenigen, deren Fortpflanzungsgeschwindigkeit innerhalb der engeren Gränzen variirt; wogegen die Geschwindigkeit der Wellen, deren Polarisationsebenen durch den stumpfen Flächen-Winkel gehen, die gröfseren Variationen erleidet. Es ist also natürlich, die Strahlen, welche den ersteren entsprechen, *ordentliche*, und die der anderen

Wellen *aufserordentliche* zu nennen, wie es auch Hr. Biot und Hr. Brewster gethan haben.

Besonderer Fall, wo kein Grund vorhanden ist, den einen Strahl mehr wie den andern den ordentlichen zu nennen.

Gäbe es einen Fall, wo die Vibrationen der Geschwindigkeit für beide Strahlen gleich würden, so hätte man natürlich kein Recht einen der Strahlen vorzugsweise den ordentlichen zu nennen. Dieser Fall tritt wirklich ein, wenn die beiden optischen Axen rechtwinklig auf einander stehen, weil man dann hat $\frac{c}{a}\sqrt{\frac{a^2-b^2}{b^2-c^2}}=1$, oder $c^2(a^2-b^2)=a^2(b^2-c^2)$; diefs setzt voraus, dafs $a-b$ sehr nahe gleich $b-c$ ist, weil man, ohne merklich die Gleichung zu stören, die Factoren $c^2(a+b)$ und $a^2(b-c)$ fortlassen kann, sobald a nicht viel von c abweicht, d. h. sobald die Doppelbrechung nicht sehr stark ist.

Kennt man den Winkel zwischen beiden optischen Axen, so braucht man nur zwei der drei Constanten a, b, c zu kennen, um die dritte zu bestimmen.

Man braucht nur a und c, d. h. die gröfste und kleinste Geschwindigkeit des Lichts in dem Krystall nebst dem Winkel zwischen beiden optischen Axen zu kennen, um die andere Halbaxe b zu bestimmen, weil die Tangente der Hälfte dieses Winkels gleich ist $\frac{c}{a}\sqrt{\frac{a^2-b^2}{b^2-c^2}}$, einer bekannten Function der drei Gröfsen a, b, c. Diesen Weg einschlagen berechnete ich, nach den von Biot gegebenen Elementen der Doppelbrechung des Topases, die Veränderungen, welche die Geschwindigkeit des ordentlichen Strahls in diesem Krystall erleiden mufs, bevor ich sie durch Messungen zu bestätigen suchte, und fand die Rechnung wirklich mit der Erfahrung übereinstimmend. Die Theorie gab mir auch die Richtungen, in welchen der or-

deutliche Bündel die verschiedensten Geschwindigkeiten annimmt. Bei dem Topas ist es die kleine Axe der Elasticitäts- oder Ellipsoïd-Fläche, welche den scharfen Winkel zwischen den optischen Axen halbirt, und die beiden Gränzen der Geschwindigkeiten des ordentlichen Strahls sind a und b. Nun besitzt der ordentliche Strahl die Geschwindigkeit a, wenn er der Axe der y parallel ist, weil a der gröſste Fahrstrich des im Ellipsoïd gemachten senkrechten diametralen Schnittes ist, und weil die entsprechende, d. h. auf dem Fahrstrich a senkrechte Polarisationsebene, gerade diesem Strahl angehört und den scharfen Winkel zwischen den optischen Axen durchschneidet. Die Geschwindigkeit desselben Strahls wird gleich b, wenn das Licht parallel der Axe der x durch den Krystall geht, weil alsdann der auf dieser Richtung senkrechte diametrale Schnitt das Ellipsoïd in einer Ellipse schneidet, dessen gröſster Fahrstrich b ist. Ueberdieſs gehört die auf b senkrechte Ebene, oder die entsprechende Polarisationsebene, der ordentlichen Brechung an; denn sie liegt noch in dem scharfen Winkel, welcher von den beiden, durch den Strahl und die zwei optischen Axen gelegten Ebenen gebildet wird, und welcher alsdann Null wird, so daſs die beiden Ebenen mit der Ebene der optischen Axen zusammenfallen. Mithin zeigt die Theorie an, daſs der Strahl, wenn seine Geschwindigkeit die beträchtlichsten Variationen erleiden soll, bald in der den stumpfen Winkel der beiden optischen Axen halbirenden Linie, bald senkrecht gegen deren Ebene gehen muſs; auch habe ich gerade nach dieser Anzeige den ersten Versuch gemacht, und dadurch das Daseyn dieser Variationen erwiesen.

Besonders bemühte ich mich bei meinen Versuchen, die Gewiſsheit zu erlangen, daſs die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Lichtwellen alleinig von der Richtung ihrer Vibrationen oder der ihrer Polarisationsebene in dem Krystall abhange, und daſs die Geschwindigkeit der

Strahlen constant bleibe, welche Richtung sie übrigens auch haben mögen, so lange sich diese Ebene nicht verändert. Die Diffraction lieferte mir sehr empfindliche Mittel, die geringsten Geschwindigkeitsunterschiede wahrzunehmen. Zwar habe ich mich bis jetzt nur mit dem Topase beschäftigt; allein ich habe meine Versuche hinlänglich abgeändert und vervielfältigt, um mich wenigstens zu überzeugen, dafs dieses Theorem für den Topas in aller Strenge richtig ist, und der Analogie nach darf man vermuthen, dafs dasselbe auch für alle übrigen zweiaxigen Krystalle gültig sey. Ueberdiefs liefern die mechanischen Betrachtungen, welche ich in dieser Hinsicht aus einander gesetzt habe, wenn sie auch keinen vollständigen Beweis von diesem Theorem geben, doch zu Gunsten seiner sehr starke theoretische Wahrscheinlichkeiten.

Rückblicke auf die Wahrscheinlichkeiten der in dieser Abhandlung aus einander gesetzten Theorie.

Das von mir gegebene, durch seine Einfachheit schon so annehmbare Theorem, die aus dem Interferenzgesetz der polarisirten Strahlen abgeleitete mechanische Definition von den Lichtvibrationen, und die Voraussetzung, dafs in der ganzen Ausdehnung der von uns betrachteten lichtbrechenden Mittel die homologen Kristallisationslinien parallel laufen, sind die drei Hypothesen, ich könnte sagen die drei Grundsätze, auf denen die in dieser Abhandlung aus einander gesetzte Theorie der Doppelbrechung beruht. Hätten wir nur ein Phänomen, wie das der Interferenzen, welches blofs von der Natur der Lichtvibrationen abhängt, zu berechnen gehabt, so würde deren Definition schon hinreichend zur Erklärung der Thatsachen gewesen seyn. Allein, da die Doppelbrechung aus der besondern Constitution des lichtbrechenden Mittels hervorgeht, so mufste man nothwendig diese Constitution definiren, ohne indefs mehr in diese Definition

aufzunehmen, als zur Erklärung der Thatsachen erforderlich war.

Die von uns angenommene Theorie und die so einfachen Constructionen, welche wir aus ihr abgeleitet haben, besitzen die merkwürdige Eigenschaft, dafs alle Unbekannten gleichzeitig durch die Lösung des Problems bestimmt werden. Man findet auf einmal die Geschwindigkeit des ordentlichen Strahls, die des aufserordentlichen und die Richtung ihrer Polarisationsebenen. Die Physiker, welche Naturgesetze mit Achtsamkeit studirt haben, werden einsehen, dafs diese Einfachheit und diese innigen Beziehungen zwischen den verschiedenen Theilen des Phänomens die gröfsten Wahrscheinlichkeiten zu Gunsten der aufgestellten Theorie darbieten.

Lange Zeit bevor ich sie erdacht, und durch blofses Nachdenken über die Thatsachen, hatte ich eingesehen, dafs man die wahre Erklärung der Doppelbrechung nicht würde entdecken können, wenn man nicht auch zugleich das sie immer begleitende Phänomen der Polarisation erklärte. Und wirklich sah ich erst die mechanischen Ursachen der Doppelbrechung ein, nachdem ich aufgefunden hatte, durch welche Vibrationsart die Polarisation des Lichts bedingt wird. Nicht einen einzigen Augenblick habe ich die Hypothese annehmen gekonnt, dafs es zwei brechende Mittel gäbe, der brechende Körper und der in ihm eingeschlossene Aether, welche, das eine, die ordentlichen und, das andere, die aufserordentlichen Wellen fortpflanzten; und in der That, wenn die beiden Mittel einzeln genommen die Lichtwellen fortzupflanzen vermöchten, so sieht man nicht ein, weshalb die beiden Fortpflanzungsgeschwindigkeiten in den meisten lichtbrechenden Körpern nicht strenge gleich werden, und weshalb Prismen von Glas, Wasser, Alkohol u. s. w. nicht ebenfalls das Licht in zwei gesonderte Strahlen zertheilen.

Wir haben angenommen, dafs es in den doppelt-

brechenden Körpern ein und dasselbe Mittel sey, welches die ordentlichen und die aufserordentlichen Wellen fortpflanze, ohne zu entscheiden, ob die Molecüle des Körpers Theil nehmen an den Lichtvibrationen, oder, ob diese alleinig vermittelst des in diesem Körper enthaltenen Aethers fortgepflanzt werden. Unsere Theorie läfst sich mit beiden Hypothesen gleich gut vereinbaren. Zwar ist es im ersten Fall leichter einzusehen, wie die Elasticität desselben brechenden Mittels mit der Richtung, in der die Molecüle verschoben werden, variire; allein auch im zweiten begreift man, dafs die Molecüle des Körpers Einflufs haben müssen auf die gegenseitige Abhängigkeit der sie umgebenden Aetherschichten, und, dafs sie so angeordnet seyn können, dafs sie diese gegenseitige Abhängigkeit, oder die Elasticität des Aethers, in einer Richtung mehr als in einer andern schwächen.

Das Phänomen der Dispersion zeigt, dafs die verschiedenfarbigen Strahlen oder die Wellen von verschiedener Länge die Körper nicht mit gleicher Geschwindigkeit durchlaufen, was ohne Zweifel davon herrührt, dafs die von den Lichtwellen erregte Elasticität mit deren Länge variirt. Wird der Wirkungskreis der Molecular-Actionen unendlich klein gegen die Ausdehnung einer Undulation angenommen, so beweist die Analyse, dafs die Elasticität, welche die Wellen fortpflanzt, nicht mit deren Breite variirt; allein anders verhält es sich, wenn die gegenseitige Abhängigkeit der Molecüle sich bis auf eine, in Bezug auf eine Undulation merkliche Entfernung erstreckt. Leicht ist zu beweisen, dafs in diesem Fall die in Thätigkeit gesetzte Elasticität ein wenig schwächer ist für schmale als für breite Wellen, und dafs folglich die ersteren sich etwas langsamer als die letzteren fortpflanzen müssen, was auch mit der Erfahrung übereinstimmt. Es folgt daraus, dafs die drei Halbaxen a, b, c, welche die Quadratwurzeln aus der durch diesen Axen parallele Verschiebungen entwickelten Elasticität vorstel-

len, oder die entsprechenden Fortpflanzungsgeschwindigkeiten, ein wenig variiren müssen für Wellen von verschiedener Länge, nach der Theorie wie nach der Erfahrung. Nun ist möglich, dafs diese Variation nicht in gleichem Verhältnisse bei den drei Axen geschieht; alsdann würde der Winkel zwischen den Kreisschnitten des Ellipsoïds, folglich auch der Winkel zwischen den beiden optischen Axen nicht gleich seyn für die Strahlen von verschiedener Farbe, wie auch Hr. Brewster und Hr. Herschel bei den meisten zweiaxigen Krystallen bemerkt haben *).

Das Phänomen der Dispersion hat vielleicht auch noch andere als die von uns bezeichneten Ursachen **); allein wie sie auch beschaffen seyn mögen, so mufs man doch aus den Beobachtungen dieser beiden geschickten Physiker schliefsen, dafs in den Krystallen, wo die optischen Axen ihre Richtung mit der Natur der Lichtstrahlen ändern, die Länge der Halbaxen a, b, c nicht in gleichem Verhältnifs für Wellen von verschiedener Breite variiren. Diefs wenigstens ist die einzige Erklärung, welche man nach der in dieser Abhandlung entwickelten Theorie hierüber geben kann.

IV. *Krystallform der Borsäure, des Indigo's und des künstlichen Eisenoxydulsilicats.*

Im dritten Bande der *Transactions of the Philosophical Society of Cambridge, p.* 305 und 417, hat Hr. W. H. Miller, Mitglied dieser Gesellschaft, ein Paar krystallographische Notizen bekannt gemacht, die unter an-

*) Auch neuerlich durch die Messungen von Rudberg (diese Ann. Bd. XVII (93) S. 1) bestätigt worden ist. *P.*

**) Man vergleiche die von Hrn. Airy aufgestellte Hypothese, S. 270 dieses Bandes.

dern die folgenden nicht ganz unbeachtenswerthen Bestimmungen enthalten *).

Borsäure. Grundform: ein doppelt schiefes Prisma. Die Winkel sind (Fig. 8 Taf. IV):

$P:M = 80°\ 30'$	$P:c = 129°$
$P:T = 81\ \ 53$	$P:e = 132$
$M:T = 118\ \ 30$	$P:f = 139$
$P:k = 75\ \ 30$	$P:h = 137$
$M:k = 120\ \ 45$	$P:x = 150$
$T:k' = 120\ \ 45$	$P:y = 156$

Die Flächen *c*, *e*, *f*, *h*, *x*, *y* kommen selten vor, und sind zu unvollkommen, um sich mit dem Reflexionsgoniometer genau messen zu lassen; daher sind die Winkel in der zweiten Kolumne nur bis auf einen Grad als richtig zu betrachten.

Spaltbarkeit ist parallel *P* sehr vollkommen.

Zwillingskrystalle sind häufig; ihre Umdrehungsaxe liegt der Durchschnittslinie von *M* und *T* parallel, und ihre Zusammensetzungsfläche ist parallel der Fläche *k*. Der Winkel zwischen *P* und *P'* ist $= 150°\ 58'$ (Fig. 9 Taf. IV).

Die Axen der doppelten Strahlenbrechung schneiden die Fläche *P*, und machen mit einander einen Winkel

*) Aufserdem werden hier noch beschrieben: die Form des borsauren und des doppelt kohlensauren Ammoniaks; erstere als ein Quadratoctaëder mit gerad abgestumpften Seitenecken und einer Neigung in den Endkanten $= 115°\ 13'$; letztere als eine gerade rhombische Säule von $111°\ 48'$, mit Abstumpfung der scharfen Seitenkanten, gerader Endfläche und einem auf die Kanten aufgesetzten Rectangularoctaëder, dessen Flächen, über die Endflächen gemessen, unter $135°\ 40'$ und $117°\ 40'$ neigen. Vom borsauren Ammoniak werden auch Zwillingskrystalle beschrieben; da indefs die Zusammensetzung der gemessenen Krystalle nicht angegeben ist und es bekanntlich mehrere Verbindungsstufen zwischen dem Ammoniak und der Borsäure giebt, so haben diese Messungen eigentlich keinen Werth. *P.*

von etwa 8° bis 9°. Die Krystalle waren aus einer Lösung der Säure in Wasser angeschossen.

Indigo. Durch Sublimation erhaltene Krystalle zeigen die in Fig. 10 Taf. IV abgebildete Gestalt. Ihre Grundform ist ein gerades rhombisches Prisma, und ihre Winkel sind:

$M:M_{\prime}$ = 103° 30′	$g:g_{\prime}$ = 165° 6′
$M:h$ = 128 15	$c:c$ = 108
$M:g$ = 149 12	$h:c$ = 126.

Schlackenkrystalle. Die Krystalle wurden in den Schlacken aus den Oefen der Eisenwerke zu *Merthyr Tydvil* und *Birmingham* gefunden. Ihre Grundform ist ein gerades rhombisches Prisma. Fig. 11 Taf. IV zeigt eine Ausbildung der Krystalle, die nebst einer andern, welche nur die Flächen *M*, *M'*, *c*, *c'*, *h* enthält, am gewöhnlichsten vorkommt. Die Winkel nähern sich sehr denen des Olivins oder Peridots, besonders denen den letzteren, nach den Messungen des Prof. Mitscherlich. Diefs erhellt aus folgender Tafel:

	Schlacke.	Peridot. Mitscherlich.	Chrysolith. Neumann.	Olivin. Phillips.
$M:M'$	= 130° 30′	130° 26′	130° 2′	130°
$q:q'$	= 110 40			
$r:r'$	= 94 40	94 34	94 3	94 16′
$s:s'$	= 72		71 10	
$t:t'$	= 48			
$c:c'$	= 81 38	81 17	80 53	80
$d:d'$	= 119 20		119 12	
$a:a'$	= 75 20		76 54	
$c:x$	= 146			

Die Flächen *M* sind parallel ihrer gemeinschaftlichen Durchschnittslinie gestreift. Die Flächen *q*, *t*, *x* sind bisher noch nicht an den natürlichen Mineralien beobachtet worden; *s* und *t* sind zu einer genauen Messung zu unvollkommen.

Einige der Krystalle von Merthyr, welche die in

Fig. 11 abgebildeten Flächen zeigen, sind durchsichtig und von dunkel olivengrüner Farbe, sie besitzen eine starke Brechkraft, das Minimum der Ablenkung von gelben Strahlen, die durch *M* und *M'* geleitet wurden, betrug 49° 32' und 52° 48'. Opake Krystalle von derselben Art haben einen Halb-Metallglanz, und enthalten, wie es scheint, eine fremde Substanz beigemengt; sie zeigen immer nur die Flächen *M*, *M'*, *c*, *c'* und *h*. Die Krystalle von Birmingham besitzen auch ebenfalls nur diese Flächen, sind schwarz von Farbe und spalten leicht in einer auf *M* und *M'* senkrechten Richtung. Bekanntlich hat Prof. Mitscherlich schon vor mehreren Jahren in den Schlacken aus Oefen in Schweden und Deutschland Krystalle gefunden, die ganz die Form des Peridots besitzen, und aus kieselsaurem Eisenoxydul bestehen, in denen das Oxydul zuweilen durch die isomorphen Basen Kalk und Magnesia ersetzt ist.

Seebeck's Tod.

Am 10. December 1831 starb zu Berlin Dr. Thomas Johann Seebeck, Mitglied der Königl. Academie der Wissenschaften, geboren am 9. April 1770 zu Reval, als Sohn eines angesehenen Kaufmanns. — Sein Antheil an der Entdeckung der Metalloïde, seine schönen Versuche über die Wirkung des farbigen Lichts auf die künstlichen Leuchtsteine und das Hornsilber, einige andere Arbeiten über das Licht und die Farben, und vor Allem seine ruhmvollen Entdeckungen der entoptischen Erscheinungen und des Thermomagnetismus haben seinem Namen unter den grofsen Namen der Physik für immer seine Stelle gegeben.

— September 1831.

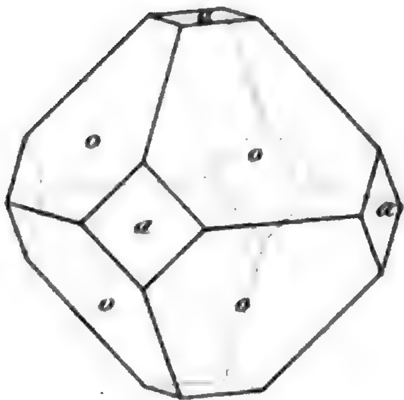
Tag.		Wetter.		
	3 U.	9 U.	12 U	3 U.
1	W.	heiter	heiter	heiter
2	S.	- -	vermischt	- -
3	SO.	bedeckt	- -	vermischt
4	SW.	bedeckt, regnigt	Regen	bedeckt
5	O.	ganz heiter	ganz heiter	ganz heiter
6	O.	- - - -	- - - -	heiter
7	SO.	- - - -	- - - -	ganz heiter
8	SW.	heiter	heiter	bedeckt
9	S.	bedeckt	bedeckt	vermischt
10	W.	bedeckt, Regen	- -	bedeckt, regnigt
11	NW.	bedeckt, Regen	bedeckt, Regen	bedeckt, Regen
12	N.	bedeckt	bedeckt	bedeckt
13	N.	bedeckt, regnigt	bedeckt, regnigt	- -
14	NW.	- - - -	- - - -	bedeckt, regnigt
15	NW.	bedeckt	bedeckt	vermischt
16	W.	- -	bed., Regen, Hag.	bed., Reg., Hagel
17	NW.	heiter	heiter	heiter
18	NW.	- -	- -	vermischt
19	W.	vermischt	vermischt	- -
20	O.	heiter	heiter	heiter
21	S.	heiter, neblig	heiter	vermischt
22	O.	heiter	- -	heiter
23		- -	- -	- -
24	W.	- -	- -	- -
25	SW.	bedeckt	- -	- -
26	W.	heiter	- -	- -
27	O.	bedeckt	vermischt	- -
28	O.	vermischt	bedeckt, regnigt	vermischt
29	S.	bedeckt	vermischt	- -
30	O.	neblig	heiter	heiter
	is 10			
	- 20			
	- 30			
	- 30			

— December 1831.

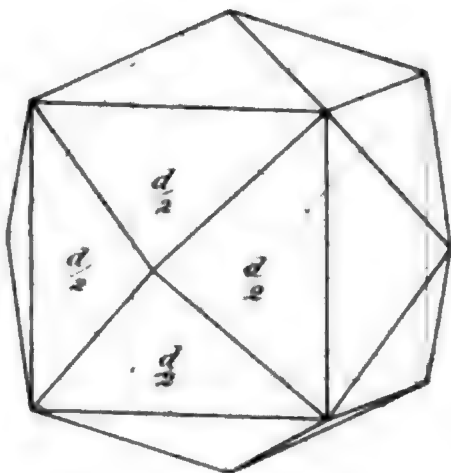
Tag.			Wetter.		
		3 U.	9 U.	12 U.	3 U.
1	3	S.	heiter	heiter	heiter
2		VV.	neblig, regnigt	Schnee, neblig	regnigt
3		NVV.	bedeckt	bedeckt	bedeckt
4		VV.	bedeckt, regnigt	bedeckt, regnigt	heiter, regnigt
5		S.	- - - -	- - - -	- - - -
6		SVV.	bedeckt	heiter	heiter
7		S.	heiter	vermischt	- -
8		SVV.	vermischt	bedeckt	bedeckt, regnigt
9		SVV.	heiter	bedeckt, regnigt	- - - -
10		VV.	regnigt	bedeckt	bedeckt
11		SO.	heiter	heiter	vermischt
12		S.	- -	- -	heiter
13		SVV.	bedeckt	vermischt	vermischt
14		SVV.	vermischt	heiter	- -
15		VV.	bedeckt	bedeckt	bedeckt
16		S.	heiter	heiter	- -
17		S.	vermischt	- -	heiter
18		SO.	bedeckt, neblig	- -	- -
19		SO.	heiter	bedeckt	bedeckt
20		SVV.	vermischt	heiter	heiter
21	3	SO.	heiter	bedeckt	bedeckt
22	3	S.	bedeckt	- -	- -
23	3	SO.	- -	vermischt	heiter
24	3	OSO.	- -	bedeckt	bedeckt
25	4	O.	- -	- -	- -
26	4	N.	- -	- -	- -
27	4	NVV.	- -	- -	- -
28	3	VV.	bedeckt, Schnee	- -	- -
29	3	NO.	bedeckt	heiter	heiter
30	3	NO.	- -	bedeckt, Schnee	bedeckt, Schnee
31	4	NO.	- -	heiter	heiter
	33	10			
	3	20			
	3	31			
	3	31			

Taf. I.

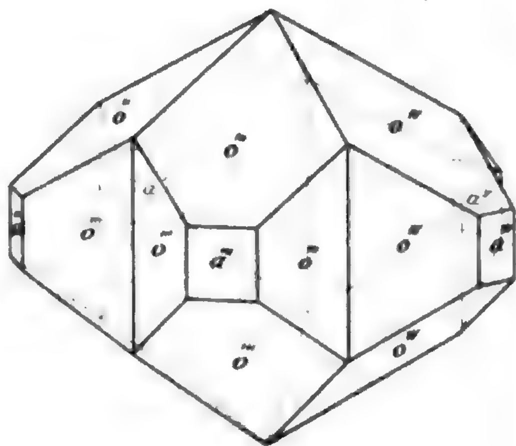
4.



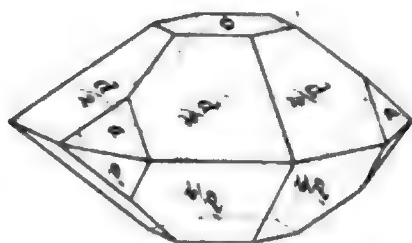
8.

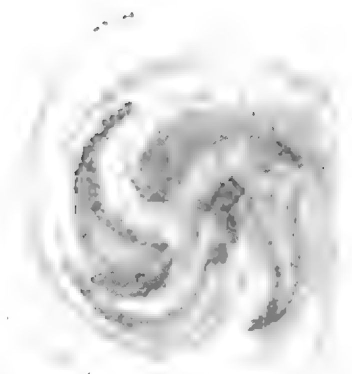


12.

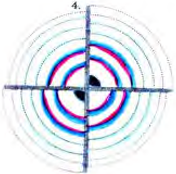


16.

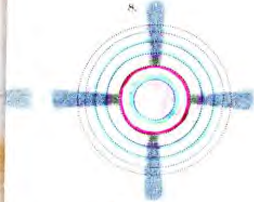




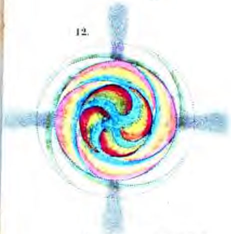
4.



8.



12.



Digitized by Google

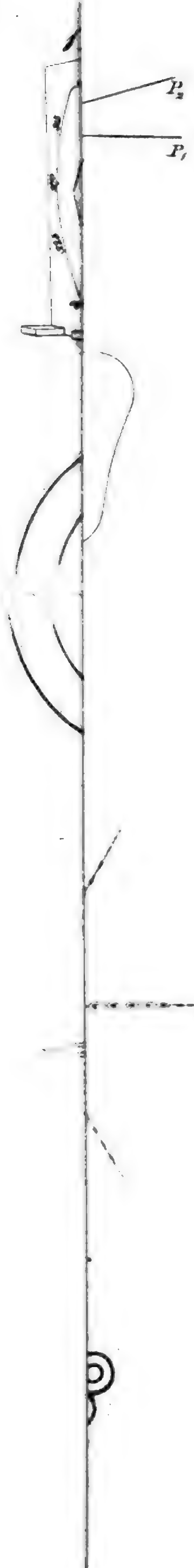
Taf. III.

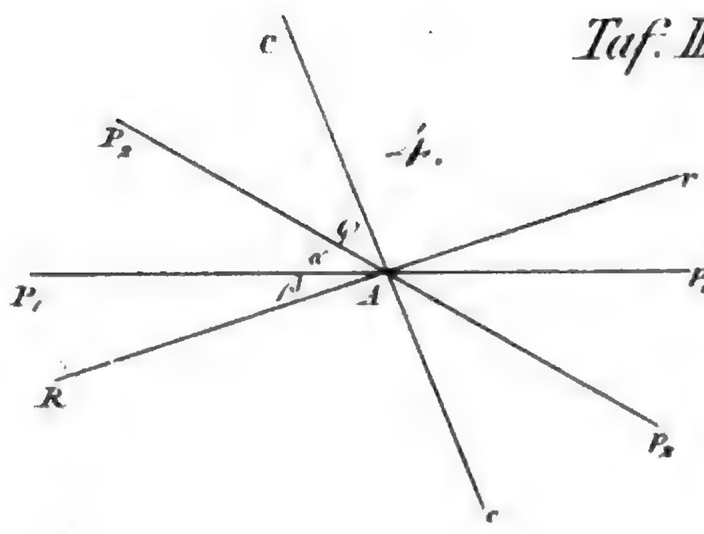
4.

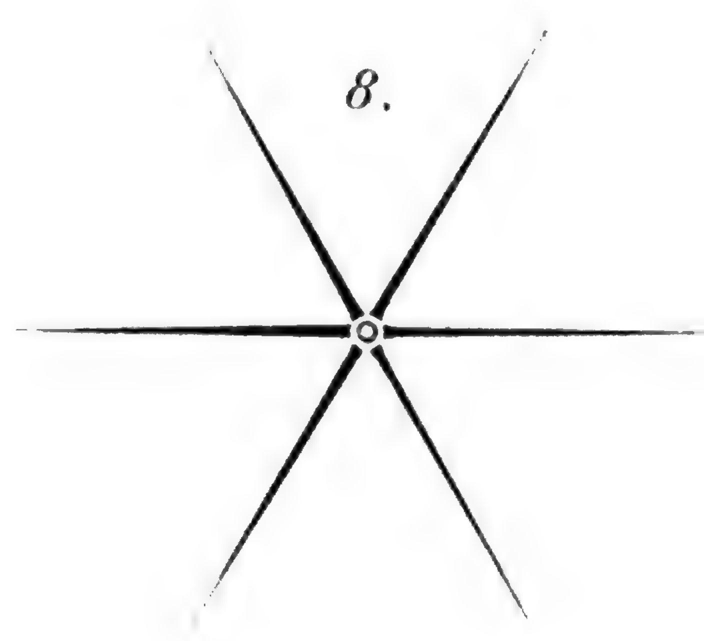
8.

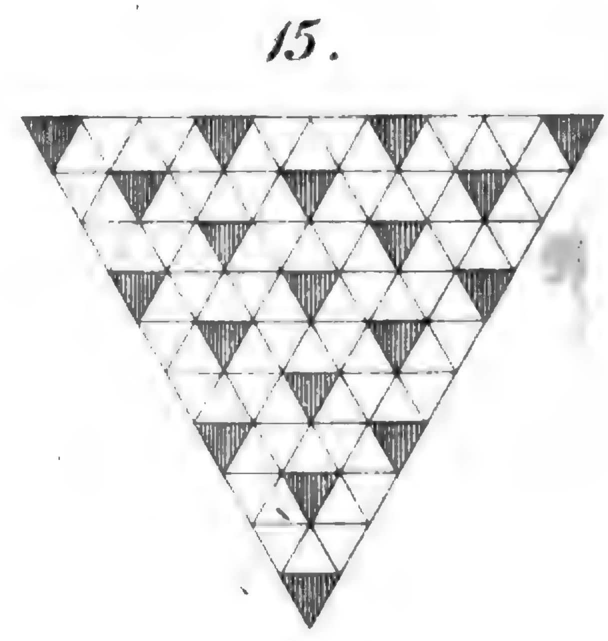
15.

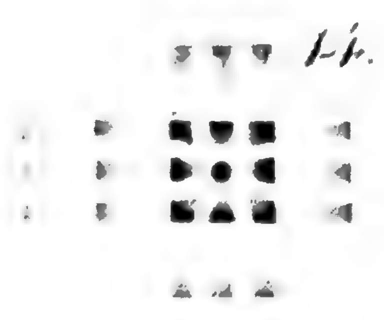
14.



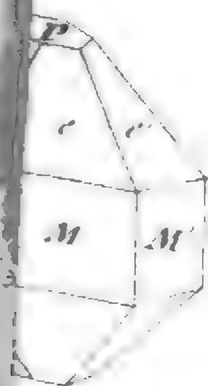

4.
c
P2
r
φ
α
P1
β
A
P1
R
P2
c


8.


15.


14.

Taf. IV



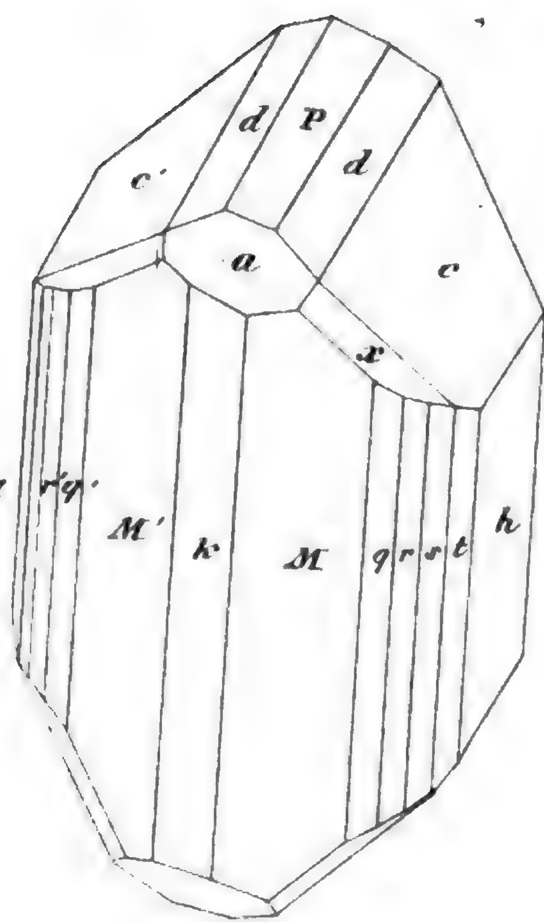


Fig. 11

Fig. 10

Fig. 12

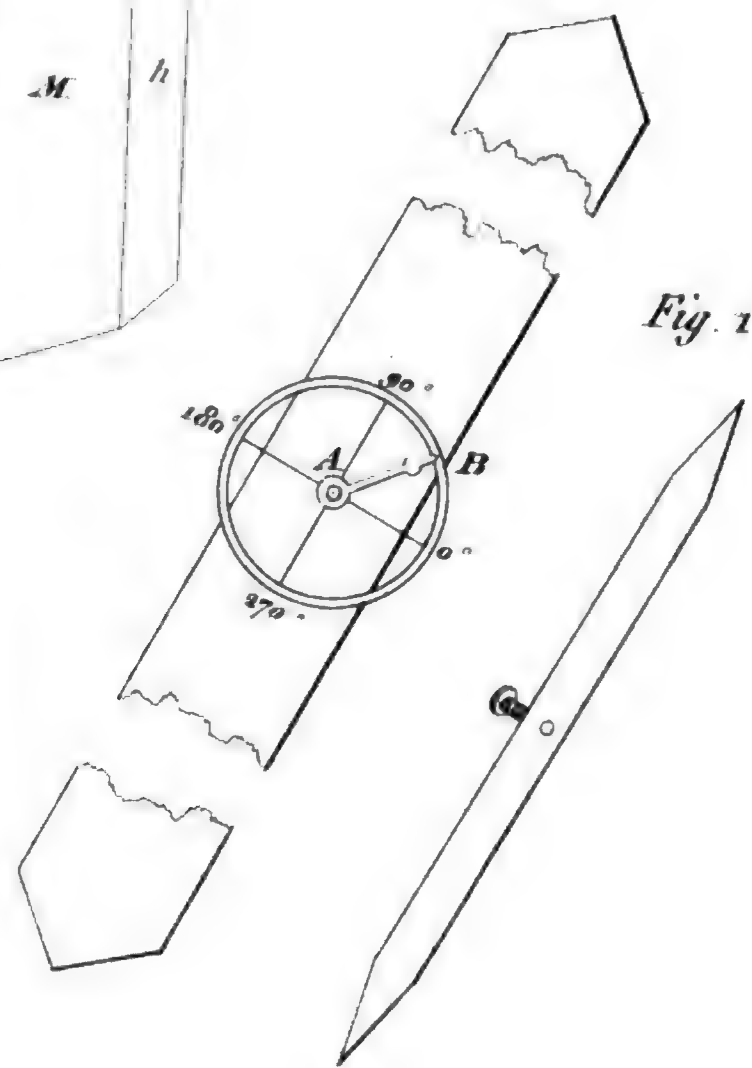
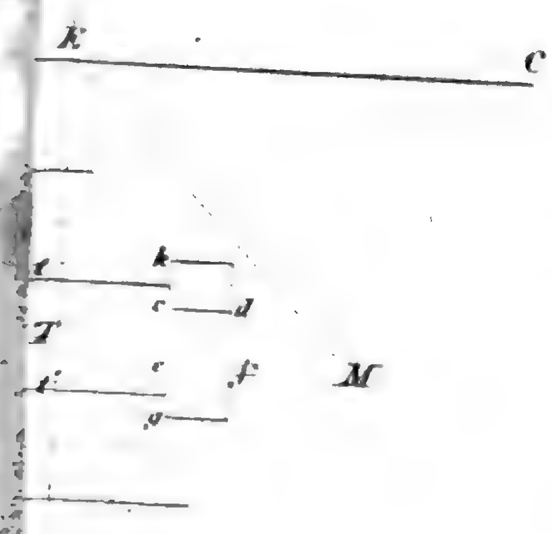
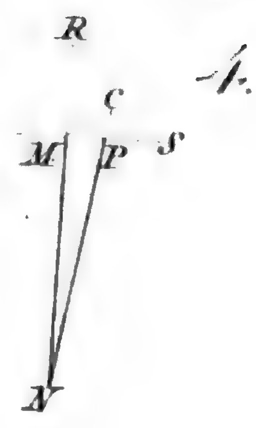


Fig. 13

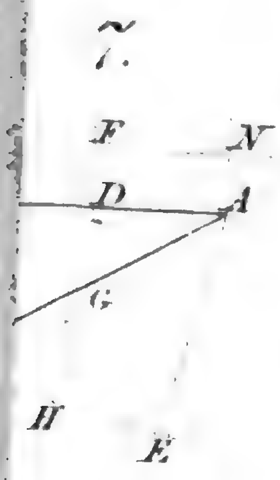
Taf. V.



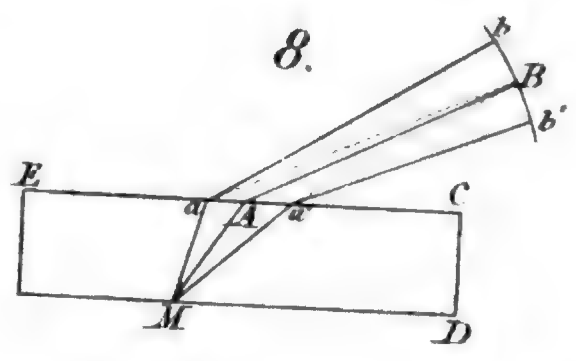
4.



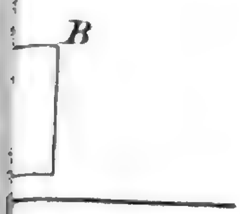
7.



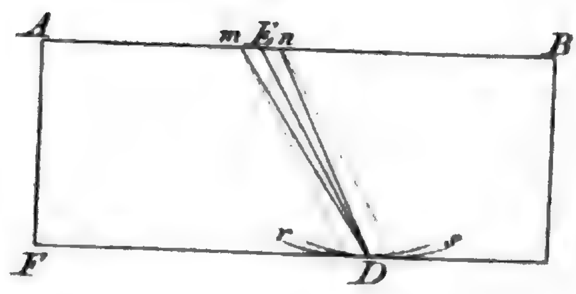
8.



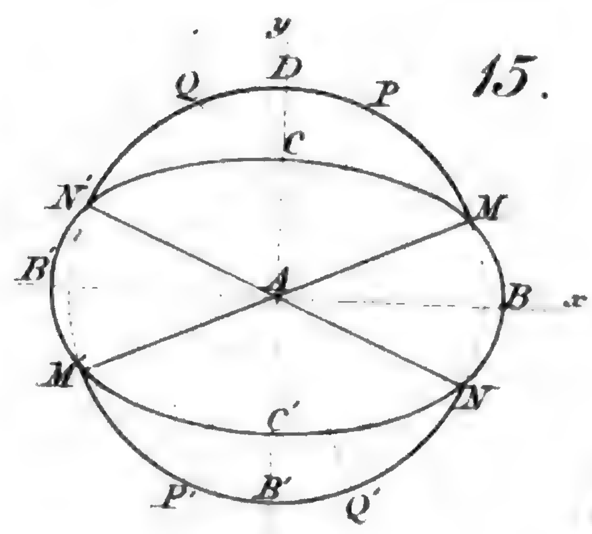
11.



12.

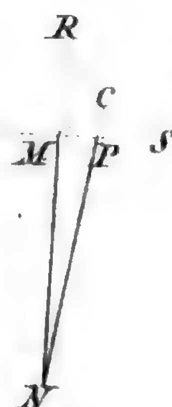


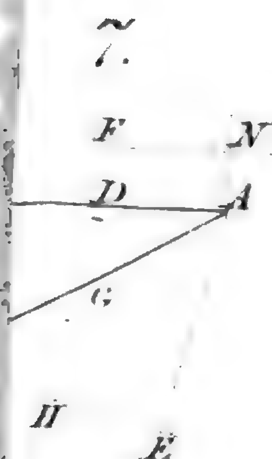
15.

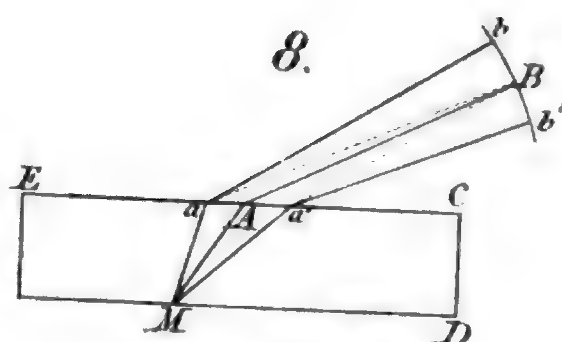


Taf. V.

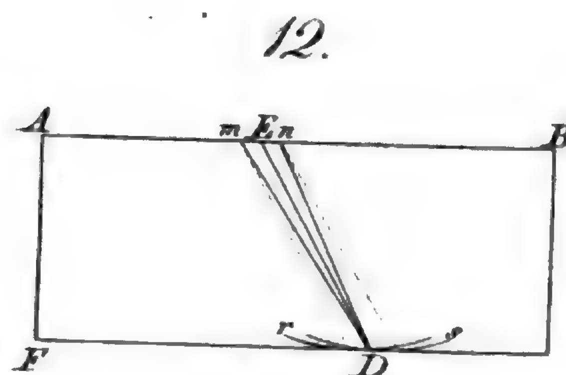
E
C
t
k
c
d
T
e
f
M
g

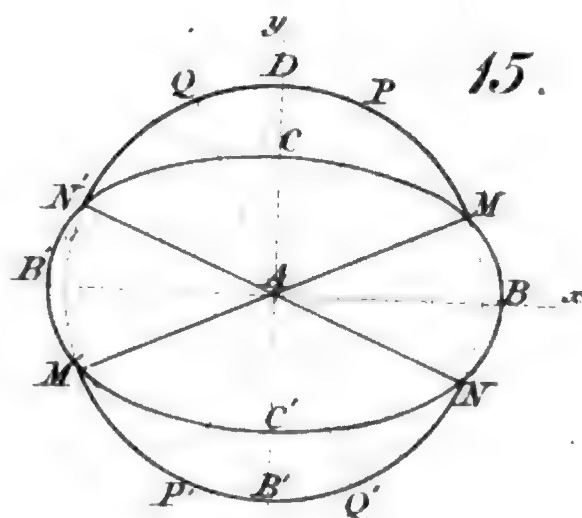

4.
R
C
M
P
S
N


7.
F
N
D
A
G
H
E


8.
b
B
b'
E
a
A
a'
C
M
D

11.


12.
A
m
E
n
B
F
r
s
D


15.
y
Q
D
P
C
N'
M
B'
A
B
x
M'
N
C'
P'
B'
Q'